

TRATADO

[illegible]

CONSTRUCCIONES EN EL MAR

[illegible]

[illegible]

ESCUELA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

[illegible]

DON PEDRO PEREZ DE LA SALA

[illegible]

[illegible]

Entrega cuarta

MADRID
[illegible]
[illegible]
1879



los cuales se establece la *zona de servicio*, y sirven tambien como *muelles de carga y descarga;* si bien suele aplicarse esta denominacion ó la de *muelles embarcaderos* á otras construcciones separadas, á las cuales atracan con más comodidad los buques, reservando para los primeros el de *muelles de ribera.*

Muchas veces el antepuerto está unido con el puerto por medio de un canal que se obstruye con depósitos ó acarreos; y otras el puerto mismo (como en las rias) tiene la forma de un canal. Entónces, para mantener expedito el canal navegable, suele aplicarse aisladamente, ó en combinacion con los medios directos de limpia por dragados, la fuerza del agua, lo que requiere el establecimiento de otros depósitos llamados *de limpia*, que se llenan en las pleasmares y se vacian en las bajas, produciendo en el canal una corriente que arrastra las materias acumuladas en él por el mar.

Un puerto debe tener medios, si no de construir, á lo ménos de reparar los buques que hayan sufrido alguna avería, comprendiendo construcciones de muy diversos géneros, conocidas con las variadas denominaciones de *diques secos de carena*, *gradas*, *varaderos*, *careneros*, *diques hidráulicos y diques flotantes.*

Por último, hay otros medios auxiliares de la navegacion, establecidos ya dentro de los puertos, ya fuera de ellos; entre los últimos los principales son los *faros*, las *boyas* y *valizas*, que sirven para dar á conocer los riesgos que se corren cerca de una costa ó de un puerto, y los puntos por donde el buque podrá pasar con seguridad ó fondear sin riesgo.

Estas son en general las obras que deberán reputarse indispensables en un puerto comercial, por más que falten con frecuencia muchas de ellas; porque ni siempre las exige la importancia del puerto, ni lo permiten los recursos de que dispone el Gobierno ó la localidad.

163. PUNTOS DE RECONOCIMIENTO. — Conocidas las obras que constituyen un puerto, veamos ahora á qué condiciones han de satisfacer. Un puerto ha de poseer, en primer lugar, puntos de reconocimiento, que lo hagan fácil de reconocer desde larga distancia, para que el buque se prepare de antemano á tomarlo, sin correr el azar de no alcanzarlo por no haber seguido en tiempo oportuno la direccion conveniente. Estos puntos de reconocimiento están dados en general por las puntas más salientes de una costa, y á ellas se dirigen con preferencia los buques para conocer su si-

tuacion respecto del puerto. Los situados en la proximidad de los cabos presentarán bajo este punto de vista ventajas sobre los establecidos en una costa rasa de grande extension. Los cabos ó puntas salientes se reconocen de dia por su forma particular, la de las tierras sobre las cuales se proyecta, y por los edificios que en ellas se descubren. En todos los derroteros figuran vistas de las costas, y señalados en ellas los accidentes más importantes. Durante la noche, se encienden en estas puntas salientes luces que, por su distinto aspecto, hacen reconocer la localidad.

No todos los cabos son buenos puntos de reconocimiento; conviene que sean altos, limpios y muy notables, de manera que se divisen desde gran distancia. Por ejemplo; navegando por el paralelo del Estrecho, el cabo Espartel, que llena todas estas condiciones, es preferible como punto de reconocimiento al cabo de Trafalgar, bajo y cercado de escollos. El de San Vicente no sólo reune las condiciones reputadas indispensables, sino que ademas se prolonga hácia afuera, de manera que permite eludir todo compromiso sobre cualquiera de las dos costas que separa bruscamente. El cabo Villano, en la costa de Galicia, es preferible al de Finisterre, por ser alto y saliente al Noroeste, y por su especial forma, que de léjos aparece como un castillo arruinado, y de cerca se asemeja á un barco aparejado de balandra.

164. Abrigo de la marejada, del viento y de las corrientes.—El puerto ha de estar al abrigo de la marejada, y la direccion de ella debe estudiarse cuidadosamente para situar la boca ó entrada. La marejada tiene en la proximidad de un puerto más influencia sobre la marcha del buque que en alta mar: la menor velocidad que entónces lleva el buque, le hace gobernar peor; el espacio en que le es permitido moverse y por donde ha de pasar es más reducido, y si en la entrada falta el viento, corre riesgo de perderse.

Por todas estas razones conviene situar el puerto al abrigo de la marejada y resguardado de ella por una ó muchas puntas salientes que rompan su fuerza. Uno de los problemas más importantes para fijar la situacion del puerto, seria determinar hasta qué distancia se extiende la influencia de una punta como abrigo, y en dónde se hace sentir más su influencia; este resultado sólo es posible obtenerlo en cada localidad por medio de la observacion, y variará con las circunstancias de la situacion, de la mar, del viento, etc. Desde aquel punto en que ha quedado amortiguada la ma-

rejada, las olas volverán á formarse, creciendo, á partir de él, hasta tomar un máximo de intensidad.

Aunque el puerto deba situarse al abrigo de las puntas, no es esto decir sea oportuno establecerlo en las puntas mismas; ántes por el contrario, conviene huir de ellas por las razones ya expuestas [63] y [111]. Queda dicho que sobre ellas solian desarrollarse violentas corrientes conocidas bajo el nombre de *raz de marée*, y que tanto las puntas mismas como las prolongaciones submarinas dan orígen á otras corrientes que alteran el régimen de la costa é influyen y modifican la marcha del buque sometido á ellas.

Tambien el puerto deberá estar abrigado de los vientos tormentosos por las tierras contiguas; por eso las costas altas son más á propósito para ello que las playas bajas. Las puntas son igualmente perjudiciales respecto al viento [24], porque despiden rachas de la parte de tierra y desatracan los buques ó impiden tomar la entrada. En las inmediaciones del puerto, los vientos deberán ser seguidos sin rachas ni contrastes.

Tampoco las corrientes deberán molestar á los buques ni atacar á las obras. Esta clase de agitaciones en el mar son más nocivas á un puerto que la misma marejada, porque á ellas son debidos principalmente los aluviones que obstruyen los puertos y los inutilizan. La marejada agita el agua del mar y levanta los sedimentos que mantiene en suspension sin trasportarlos de una manera sensible; pero no sucede lo mismo con las corrientes, las cuales arrastran los depósitos del interior de los puertos. Si por una parte estas corrientes son perjudiciales, por otra son beneficiosas, por cuanto contribuyen tambien á llevar fuera los aluviones que otras han depositado, cegándose muchos puertos por la supresion de estas corrientes. De todos modos, conviene trazar los diques de manera que se eviten los estrechamientos y ensanches bruscos, causa principal del depósito de los aluviones.

165. Facilidad de alcanzar el puerto y ponerse en franquía.—Conviene que el puerto se tome directamente con el mayor número de vientos, especialmente de los tormentosos. Cuando así no suceda, deberá preceder al puerto un espacio abrigado ó rada, donde el buque tenga facilidad de dar tranquilamente bordadas sin ser molestado por la marejada.

Ademas del abrigo que preste al buque en sus maniobras, deberá estar dispuesta la rada con relacion á las obras del puerto de manera que no sea

forzoso rendir la bordada cerca de los puntos sobre las cuales son más frecuentes y peligrosas las corrientes, rachas y contrastes. Este espacio abrigado sirve tambien para dar fondo cuando el viento escasea ó falta y hay temor de perder la bordada.

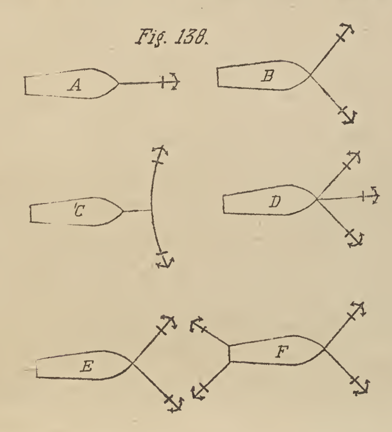
Convendrá situar el puerto de tal manera, que si no hubiese posibilidad de tomarlo ó saltase la travesía, el buque pueda seguir corriendo en demanda de otro más á sotavento, sin el riesgo de verse empeñado sobre las tierras que forman la costa y forzado á embarrancar. Es, pues, importante, que la costa robe á sotavento con relacion á la travesía por lo ménos ocho cuartas. Por ejemplo, en la costa del Norte de España, los vientos tempestuosos corren del Sudoeste al Norte, de tal manera, que suponiendo al buque navegando en siete cuartas, el rumbo tirado desde el puerto al Este $^1/_4$ al Nordeste, no deberá encontrar ningun obstáculo; y si tenemos en cuenta el abatimiento por la marejada, deberemos tomar para aquel rumbo el de Este á Oeste. Un punto situado al Este del cabo de Peñas cumple en general (y prescindiendo de las pequeñas puntas de la inmediacion del puerto) con esta condicion; pero de los situados al Oeste del cabo, deben desecharse todos los que estén más al Este de la ria de Foz en Galicia, porque desde ellos no podrán los buques montar el cabo de Peñas, dándole el resguardo de cuatro millas que exige. Si en vez de las siete cuartas suponemos ocho, entónces el rumbo va á parar á la ria de Vivero. Si el buque ciñese mucho y cerramos el ángulo hasta seis cuartas, Luarca marcará el punto límite.

El estar precedido el puerto de una rada no es sólo ventajoso para tomarlo con facilidad, sino tambien para salir de él los buques cuando no no pueden ponerse en franquía directamente, sino por medio de bordadas.

166. Ventajas de la rada y sus condiciones.—Tambien presta los servicios de antepuerto en mayor escala, y sirve para dar un abrigo momentáneo á los buques que no necesiten entrar en el puerto ó para los que quieran esperar viento favorable. La estancia de un buque fondeado en una rada, muy expuesta cuando no tenga un puerto inmediato donde acogerse si se levanta una tempestad ó el temporal arrecia, será completamente segura en el caso contrario, y por lo tanto excusa las maniobras indispensables para la entrada y salida del puerto.

Se comprende la insuficiencia de un antepuerto para fondear en él un gran número de buques de gran porte, y la necesidad de una rada. Cuando

un buque *A* (fig. 138) está fondeado sobre una ancla y sujeto á *bornear*, esto es, á describir un círculo alrededor del punto de amarra, se calcula el espacio que necesita por el radio que describe, agregando á la



longitud del buque tres á cinco veces la altura del agua. Generalmente se suponen 10 hectáreas para un buque de guerra de 70 metros de eslora, que corresponde, segun la regla anterior, á un calado de 17 metros (8 á 9 brazas), bastante general en las radas, sobre todo en aquellas en que es muy extensa la carrera de la marea. Esta superficie puede reducirse, teniendo en cuenta que un buque en una rada no describe círculos completos, y que los demás que le acompañan giran aproximadamente en el mismo sentido. Si el buque *B* estuviese amarrado en dos anclas por la parte de proa, ó como suele decirse, *á la gira*, entónces el espacio se reduce á la mitad. En la rada de Cherburgo, se calcula pueden fondear de 25 á 30 navíos, con los buques menores correspondientes. Hoy, que la tranquilidad es mayor, y el uso del vapor en la marina de guerra facilita las maniobras, debe elevarse el número hasta 40.

Cuando un barco *C* ha de permanecer fijo durante largo tiempo (como sucede en las boyas ó faros flotantes), se amarra muchas veces en dos

tendiendo transversalmente una de las cadenas, ligando las dos anclas, y pasando, en el centro de ella, una segunda, sujeta por medio de un grillete que la permite girar alrededor del punto de union.

Puede tambien el buque *D* tender tres anclas con sus cadenas por la proa, y entónces se dice que está fondeado á *pata de ganso*. Cuando las tres anclas se distribuyen dos á proa y una á popa *E*, se llama fondear con *codera* ó con *rodera;* y por último, puede estar fondeado *en cuatro F*, ó con dos anclas por la proa y otras dos por la popa. Estas dos últimas maneras de fondear exigen menor espacio, pero la ventaja está compensada con no poder girar el buque de manera que presente siempre su proa al viento, á la marejada ó á las corrientes, segun sus variaciones, lo cual le hace trabajar más, lo mismo que á las cadenas y amarras. La operacion de hacerse á la vela es entónces más penosa y exige más tiempo, por el mayor número de anclas que es necesario levar, y si por un accidente cualquiera el buque tuviese que abandonar sus anclas ó cortar sus amarras, la pérdida seria mayor, y acaso se veria privado de todas, pues nunca son muy numerosas las que un buque lleva á bordo. Por todo lo cual los dos primeros modos de dar fondo son los que ordinariamente se usan.

Stevenson da la siguiente fórmula para determinar la capacidad de un puerto abrigado y tranquilo en funcion del tonelaje medio de los buques que lo frecuentan:

$$(3) \quad N=\frac{2.470}{t}+12,$$

en donde N representa el número de buques por hectárea, y t el porte en toneladas. Esta fórmula, áun considerada como empírica, es poco racional, siendo más natural calcular el espacio con relacion á la superficie ocupada por los buques, por un procedimiento parecido al siguiente. Supongamos que el buque necesita de proa á popa una extension doble de su eslora, y que transversalmente ocupe una mitad más de la manga; la superficie que un buque necesita será

$$3\,EM$$

representando E la eslora, M la manga y P el puntal en metros; luego en una hectárea cabrán

$$(4) \quad N=\frac{10.000}{3.EM}.$$

Segun la fórmula francesa de arqueo, el tonelaje de un buque se expresa por

$$(5) \quad t=\frac{\mathrm{EMP}}{3{,}80}$$

de donde

$$(5') \quad EM=\frac{3{,}80t}{\mathrm{P}}$$

y sustituyendo en (4)

$$(4') \quad N=\frac{10.000\mathrm{P}}{11{,}40t}.$$

Y sustituyendo por P su valor (2), tomando para m el menor de sus valores, tendremos definitivamente para el número de buques por hectárea

$$(4'') \quad N=\frac{535}{t^{\frac{2}{3}}}$$

Si los buques fuesen de vapor, se deberia rebajar, conforme á la citada regla, el 40 por 100 de la cifra obtenida.

La rada, ademas de ser espaciosa para permitir la entrada á un gran número de buques, debe ser hondable, y estar dispuesta la entrada de manera que tenga el buque espacio en donde gastar la arrancada, y si no existiese la rada, lo deberá tener el antepuerto. Minard lo evalúa como mínimo en 200 á 300 metros. En cuanto al radio descrito por los buques de vapor, no debe suponerse de ménos de 200 metros.

La rada debe tambien tener buen fondo y estar limpia de bajos; y por último, ha de haber una parte con poco calado y fondo de arena ó fango, que permita á los buques encallar para hacer sus reparaciones.

Una de las condiciones más principales es la de no presentar barra á su entrada, y bajo este concepto no son las rias, por lo general, buenos puertos; y sin embargo, se observa, á pesar de este inconveniente, que los más importantes están situados en ellas; lo cual se explica por la mayor comodidad que para la estancia ofrecen, por el mayor calado y buen fondo; y sobre todo por el comercio más activo que desarrollan, y penetran con la navegacion en el interior de la comarca, haciéndola participar de las ventajas de la zona marítima en una extension tierra adentro tanto más dilatada cuanto más importante sea la corriente fluvial.

El puerto deberá tener, además de las condiciones marcadas, el calado y extension proporcionados al número y porte de los buques que lo frecuenten, por lo ménos para las pleasmares de agua muerta, para que de este modo puedan verificar su entrada y salida en todos los dias del año. Y, por último, el buque deberá encontrar medios de verificar la carga y descarga, así como facilidad de hacer aguada y procurarse víveres y pertrechos.

167. Tipo de un puerto.—Estas ligeras indicaciones tendrán su natural desarrollo en los capítulos correspondientes, á los cuales nos referimos. Hé aquí (fig. 139), para terminar, la descripcion que hace Frisard de un puerto tipo que reuna todas las obras de que ya queda hecha mencion. *AB* es el

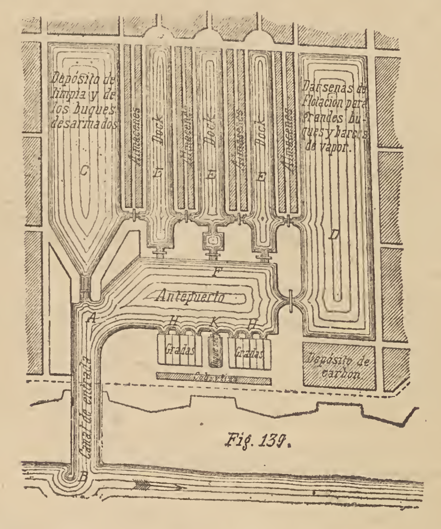


Fig. 139.

canal de entrada con su depósito y exclusa de limpia *C*, en comunicacion con las dársenas *E*, que á su vez tienen entrada por el antepuerto *F*. Otra gran dársena *D* para navíos y vapores, se encuentra á la extremidad.

Tinglados para la carga y descarga, almacenes, talleres, etc., rodean á estas dársenas; y, por último, las gradas *H* y los diques de carena *K* sirven para trabajar en las reparaciones que necesiten los buques.

Forman parte de los puertos militares los arsenales, en donde existen otros edificios y aparatos que tienen más bien relacion con la construccion de los buques y con los pertrechos militares. Almacenes para depósito de las maderas y arboladura; fosas de inmersion para la conservacion de las mismas; talleres de cordelería, de motonería; de velas y de piperías; almacenes para el depósito de los pertrechos de los buques y de la tripulacion, los cuales, por sus dimensiones é importancia, deben figurar en primera línea. No ha de olvidarse tampoco la sala de *monteas* ó de *gálibus*. Otros talleres que les son comunes con los demas establecimientos industriales, como talleres de carpintería y calderería, fraguas, etc., más ó ménos completos segun la extension que se quiera dar á la construccion y reparaciones de los buques, completan las obras de un puerto militar.

En algunos de ellos (Cherburgo, por ejemplo), el Gobierno no acude á la industría privada para abastecer la flota, y fabrica diariamente los objetos que le son necesarios; y por eso la panadería y salazones figuran entre los demas establecimientos de aquel puerto. Otros tienen más relacion con la parte militar; tales son los cuarteles, hospitales, parque de artillería, etc.

CAPÍTULO IX.

ENTRADA EN LOS PUERTOS.

—

RESUMEN.

168. Boca de un puerto. — 169. Trazado de la boca con relacion al círculo descrito por el buque. — 170. Orientacion de la boca. — 171. Trazado de los diques. — 172. Reglas de trazado. — 173. Puerto de San Estéban de Pravia.

168. Boca de un puerto.—Fijar la entrada, ó como vulgarmente se dice la *boca* de un puerto, es una de las más importantes cuestiones que deben llamar la atencion del Ingeniero encargado de proyectar un puerto. En la informacion parlamentaria abierta en Inglaterra sobre puertos de refugio, se consigna que una cuarta parte de los naufragios se verifica en las entradas de los puertos, encontrando el marino con frecuencia su pérdida donde esperaba hallar su salvacion.

La navegacion de vapor ha reducido mucho los inconvenientes de una mala entrada en los puertos, pero áun para ella no es del todo indiferente una buena ó mala direccion. Ademas, la navegacion de vapor no destruye la navegacion á la vela, en la cual se observa un desarrollo creciente paralelo al de la marina de vapor.

Sobre esta, como sobre la mayor parte de las cuestiones que se refieren á puertos, sólo podemos dar indicaciones generales, por la complicacion de condiciones que deben tomarse en cuenta, y á las cuales no siempre es po-

sible satisfacer. La configuracion de la costa, el viento, la marejada, etc., son todas circunstancias que influyen en la orientacion de la boca y en sus mayores ó menores dimensiones. Una boca ancha no resguarda completamente de la agitacion exterior, al paso que una estrecha es un obstáculo para la entrada de los buques, y produce corrientes y resacas al mismo tiempo que impide penetrar en el puerto y salir de él á las que mantenian limpio el fondo; en una palabra, igual riesgo se corre de proyectar un mal puerto pecando por exceso como por defecto.

La boca ó entrada de un puerto está formada ordinariamente por dos diques, entre los cuales pasan los barcos, ó por uno solo y la costa. Cuando la configuracion de la costa lo permite, debe establecerse, segun queda dicho, abrigada del viento, de la marejada, etc., pero algunas veces esto no es posible y es forzoso situar la entrada dando frente á la mar y recibiéndola de lleno en el interior del puerto. ¿Qué anchura deberá darse á la boca en este caso? Es claro que dependerá de la mayor ó menor tranquilidad que se pretenda lograr, relativamente á la mayor ó menor agitacion que reine fuera.

En la informacion parlamentaria inglesa ántes citada, se propone, para determinar el ancho, la siguiente fórmula, basada en la teoría de las ondulaciones de Thomas Young, y que, comprobada en varios puertos de Inglaterra, ha dado resultados bastante aproximados á la verdad:

$$(1) \quad \frac{x}{H} = \sqrt{\frac{C}{B}} - \frac{1}{50}\left(1 + \sqrt{\frac{C}{B}}\right)\sqrt[4]{D}$$

siendo

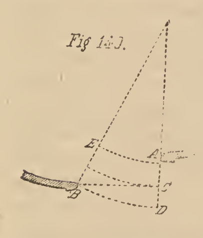
H la altura de la ola á la entrada del puerto.
x la misma en el interior.
C ancho de la boca.
B idem del puerto donde se hace la observacion.
D distancia de la boca.

En esta fórmula las medidas están tomadas en piés ingleses; si lo fuesen en metros, bastaria sustituir el coeficiente $\frac{1}{50}$ por $\frac{1}{37}$.

Debemos hacer observar que la fórmula anterior se refiere á la zona que corresponde frente á la boca en la direccion de la marejada; la agitacion disminuye bastante rápidamente en los espacios laterales conforme con la ley de la difusion [43] (aunque esta se referia en los experimentos á ondas de primer órden). Las circunstancias locales modifican estos resultados; cuando la masa de agua en la cual se pierde la agitacion es pe-

queña, como sucede en las olas que penetran en el canal de entrada de algunos puertos, ó cuando á una pequeña distancia de la boca se encuentra la marejada interrumpida en la marcha, la agitacion aumenta, y algunas veces suele ser mayor aún que en lo exterior del puerto.

168. Trazado de la boca con relacion al círculo descrito por el buque.— En el ancho de la boca y en la posicion relativa de las cabezas de los diques influye el radio del círculo que los buques describen al virar; y debe ser tal que estos no tropiecen con el dique en ningun punto de su carrera. Para esto, si suponemos (fig. 140) que CB es la direccion límite de la entrada; $CA=CD=BF$ los resguardos respectivos que hayan de darse á las cabezas, y que una de ellas esté situada en A; la otra deberá colocarse en la interseccion del círculo DB con la enfilacion límite CB.



Con estos datos, el límite inferior del ancho de la boca estará dado por la fórmula siguiente:

$$(5) \quad BA=DB=\sqrt{2(R+r)r}$$

representando por R y r, el radio del círculo que describe el buque y el resguardo.

El diámetro del círculo descrito por los buques varía con la naturaleza, construccion, aparejo, dimensiones, velocidad, estado del mar y del viento. En tiempo de calma el navío *Bretaña*, de 81 metros de eslora, describe un círculo de 620 metros de diámetro, y de 450 á 520 el *Napoleon* y el *Arcola*. El *Warrior*, de 116 metros de eslora y 8 metros de calado en la popa, traza una circunferencia de 1.374 metros de diámetro. El navio ruso *Vola* de 64,66 metros de eslora con 7 metros de calado en la popa, y la fragata *Gromoboy* de dimensiones casi iguales, de 600 metros; y el *Constantino* de 1.000 metros. El término medio de muchas cañoneras de 34 metros de eslora y 2,28 de calado, es un diámetro de 210 metros; una de ellas describió en 4′ un círculo de 168 metros de diámetro.

Aplicando la fórmula (5) al caso límite $R=\frac{1}{2}1.374$, con un resguardo de 10 metros, resulta para el ancho de la boca 118 metros.

La anchura de la boca varía entre límites bastante extensos en los puertos principales; desde 36 metros que tiene el de Helvoetsluys (Minard)

hasta el de Kingstown de 320; y ademas de las circunstancias ya mencionadas, debe influir en ella notablemente la extension del puerto y magnitud de los buques que lo frecuentan. En Francia la regla que se fija es la de dar paso á tres buques á la vela.

170. ORIENTACION DE LA BOCA.—La entrada en popa para los vientos tempestuosos tiene varios inconvenientes: 1.° El de dar más fácil acceso á las olas, y exigir por lo tanto una boca más estrecha para obtener el mismo abrigo; esto origina corrientes y resacas en la entrada, con todas sus desventajas, y una agitacion mayor en la proximidad de la boca por la parte del mar. 2.° Que el buque lleva cerca de ella demasiada velocidad, que no puede ni debe moderar en el instante crítico de la entrada, y es fácil le lleve á varar ó á chocar con otros buques ú obstáculos si el puerto no tiene una grande extension. 3.° La salida con los mismos vientos más difícil y á veces imposible.

Si la entrada dando frente á la mar es perjudicial respecto del abrigo y tranquilidad del puerto, en cambio ofrece ventajas en lo relativo á la entrada, que verifica el buque viento en popa ó á un largo, y ayudado por la marejada; circunstancia muy importante cuando hay, como sucede en las rias, una barra ó un obstáculo que salvar. En algunas de ellas la entrada se verifica en los temporales con ayuda de los golpes de mar. Tambien siendo mayor la velocidad, el buque gobierna mejor y es más difícil errar la entrada.

La salida es asimismo favorecida por esta situacion, pues los vientos tormentosos son contrarios generalmente á los bonancibles, con los cuales se abandona el puerto. En la costa cantábrica, por ejemplo, los vientos tormentosos corren desde el Norte por el cuarto cuadrante hasta el Sudoeste. Si tomamos este viento como límite, un buque podrá alcanzar en todo tiempo un puerto cuya boca no pase del Noroeste $^1/_4$ al Norte, al paso que la salida tendrá lugar, para la misma orientacion, con todos los vientos bonancibles que corren desde el Nordeste hasta el Norte $^1/_4$ Nordeste por el tercer cuadrante. Más adelante indicaremos la manera de resolver este problema con toda generalidad.

La condicion de entrar directamente en un puerto sin dar bordadas, como pudiera suceder en el caso de carecer de rada, determina tambien la direccion de la boca, al ménos como un límite. Supongamos, por ejemplo, un puerto para el cual son los vientos límites tempestuosos los del Sud-

oeste, y estando la tierra al Sur de una de las cabezas, la segunda deberá estar en la direccion Sud-Sudeste respecto de la primera. Esta direccion no debe fijarse por la de los vientos tempestuosos ó de la marejada fuera de puntas, sino de la que estos tomen en la localidad, que siempre varía porque llaman á tierra [24], y pudiera suceder, no tomando esta precaucion, que el puerto quedara desabrigado ó con resacas.

En rigor, la cuestion de orientacion de la boca de un puerto pertenece á los marinos y depende de la posicion particular del puerto con relacion á la rada, á los bajos próximos, etc. Minard dice que puede variar el ángulo que forme con los vientos dominantes entre 0° y 70° (es decir, el ángulo de bolina), y que en casos extremos puede llegar á 90°.

171. Trazado de los diques.—Los diques pueden clasificarse en dos grupos: aquellos que prestan el abrigo y constituyen la rada ó el antepuerto, como en Cherburgo, Plymouth, Valencia, etc., y otros (llamados *jetées* por los franceses) que forman la entrada propiamente dicha, y ocupan sitios más abrigados; tales son los del puerto de comercio de Cherburgo, de Dieppe, etc., etc.; estos últimos tienen ya casi siempre fijo su trazado, que varía entre límites muy estrechos, y sólo debemos ocuparnos de los primeros bajo el punto de vista teórico.

Conviene hacer que el dique de barlovento cubra al de sotavento para los vientos dominantes, porque al mismo tiempo que procuran mayor abrigo, los buques, en la salida, pueden sirgarse hasta la cabeza de barlovento y hacerse á la vela sin caer sobre el de sotavento; esta es una ventaja, porque al principiar la primera bordada el buque sin velocidad gobierna mal, abate mucho y podria caer sobre la segunda cabeza si esta no se hallase suficientemente retirada. Minard dice que por la misma razon es ventaja para la entrada, pero en nuestro concepto esta opinion es errónea, pues es preferible caer contra una cabeza á errar la entrada y varar en la playa.

Respecto de las corrientes, Belidor es de opinion que sobresalga más la de aguas abajo, porque se forma un remanso del cual se aprovechan los navíos para tomar la boca. Minard dice que tambien este mismo remanso se produce prolongándola de aguas arriba; lo que entónces se origina es un remolino que impediria al buque gobernar bien y que le expondria á errar la entrada. Sin embargo, esta consideracion es de menor importancia ante las otras.

Circunstancias particulares determinan con frecuencia la longitud relativa de los diques, con exclusion de las anteriores consideraciones. Minard cita el ejemplo del puerto de comercio de Cherburgo, en el cual es más largo el dique de sotavento; hé aquí la razon. Cherburgo es más bien que puerto comercial un puerto de refugio, y sólo un tercio de los buques que entran vienen consignados á él. Así que refugiándose con los vientos del Oeste, prefieren tener la salida expedita para los vientos del Este.

A veces (como sucede ordinariamente en los puertos de ria y en otros varios) la entrada la forman dos diques próximamente paralelos, y cuyo objeto es el prestar desde ellos auxilio á los buques entrantes. En su trazado, ademas de las anteriores consideraciones, deberán tenerse presentes las que expusimos al ocuparnos del encauzamiento de las rias, dando mayor anchura á la seccion correspondiente á la boca, disposicion ventajosa tambien bajo el punto de vista de las maniobras y facilidad para la entrada. El trazado en curva de estos diques, presenta la ventaja de un efecto mayor en la corriente para profundizar y mantener fijo el canal, pero tambien facilita la transmision de las olas al interior, por cuyo motivo muchos de ellos afectan la forma poligonal.

Algunos puertos privilegiados poseen la ventaja de tener dos entradas, una de las cuales queda expedita cuando la otra llega á cerrarse, ó cada una sirve para los buques que llevan cierta derrota y para ciertos vientos. En Peterhead los dos puertos Norte y Sur están unidos por un canal que facilita el paso de uno á otro y salir por el que convenga, segun el estado del mar. El puerto de Vigo tiene tambien dos entradas naturales, una al Noroeste y otra al Sudoeste. Es necesario, sin embargo, tener presente que dos bocas procuran ménos abrigo, y que en ciertas condiciones de situacion, si la carrera de la marea es extensa, se pueden producir corrientes violentas en el interior del puerto.

172. Reglas de trazado.—Las indicaciones contenidas en los párrafos anteriores, llevan consigo un carácter tal de vaguedad, que no es posible deducir ninguna regla fija que dé *á priori* el trazado de la obra, como sucederia tratándose de un puente, de una carretera ó de un canal; en todos estos casos, casi siempre se encuentra una solucion que es, tenido todo en cuenta, relativamente la mejor. En un puerto no sucede esto; son tan complejas y contradictorias las condiciones á que debe satisfacer, que es muy fácil la crítica de cualquiera obra de este género, porque despues de

ejecutada se ven sus defectos, algunos previstos de antemano y muchos que pasaron desapercibidos. Se pretende, por ejemplo, abrigar demasiado el puerto, se dificulta la entrada y los aluviones invaden el interior. Si se abre la boca para facilitar el acceso, la estancia en el fondeadero es trabajosa. Lo que decimos es sólo atendiendo á la accion directa del mar, y el problema se complica más todavía, cuando se tiene en cuenta su accion indirecta, ó á lo que hemos denominado resacas.

Ordinariamente el problema resulta ya casi resuelto de una manera general por las condiciones locales, y sólo le queda al Ingeniero trazar dentro de ciertos límites las obras de abrigo. Una restinga de peñas, un canal de entrada, un bajo ú otra circunstancia local, deciden la cuestion principal, á veces en contra de los principios establecidos; por eso el estudio de algunos de los puertos más importantes, del trazado de sus obras y de las razones que las motivaron, enseñará más al Ingeniero que todas las reglas que pudiéramos aquí dar. Conviene, sin embargo, aunque sea sólo como ejercicio, hagamos un estudio prévio del trazado en algunos casos hipotéticos, que facilitarán aquel trabajo.

Las condiciones del trazado de los diques de abrigo son diferentes segun dos situaciones en que deban encontrarse; ó se establecen en una bahía ó rada relativamente tranquila, limpia de bajos, donde el buque tiene holgura suficiente para maniobrar en cierto modo con todo descanso; es decir, cuando la entrada se toma sin inconveniente dando bordadas; ó cuando no hay medio de darlas porque el mismo dique sirve para abrigar la rada ó esta es sucia y el buque tiene que abocar el puerto directamente desde alta mar. El trazado en este último caso es más difícil, y limitado si se ha de llenar aquella condicion con ciertos vientos; al paso que en el primero las soluciones pueden ser muchas y todas ellas aceptables bajo el punto de vista de la entrada, que de principal pasa á secundaria.

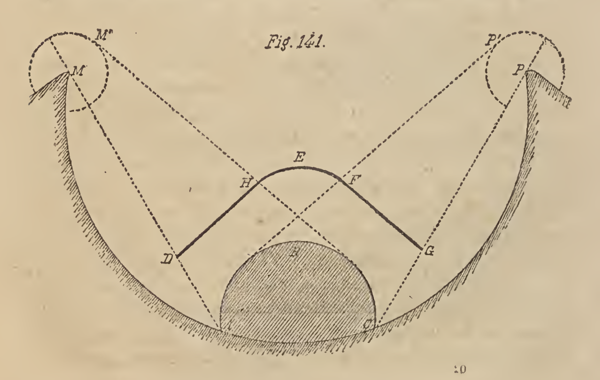
Dividiremos en dos grupos los vientos con relacion á la localidad en que se va á establecer un puerto: los terrales y los foraneos; los terrales, en general poco intensos, levantan poca mar; y cuando por alguna circunstancia local (como sucede con los Noroestes en el golfo de Leon y los Levantes en la bahía de Cádiz) [26 y 27], soplan con violencia, no son persistentes. Permiten ademas hacerse á la mar evitando el riesgo de la entrada, y buscar en otro puerto más favorable el refugio deseado. Hé aquí por qué, en general, se atiende poco á los terrales cuando se proyecta la

boca de un puerto, limitándose á hacerla asequible para los vientos foráneos, los más temibles de todos, y los que levantan mares gruesas. Debemos, sin embargo, tener presente para el trazado que con frecuencia sucede no soplar el mismo viento fuera que sobre la costa [24], por la tendencia en su proximidad á llamar siempre á tierra.

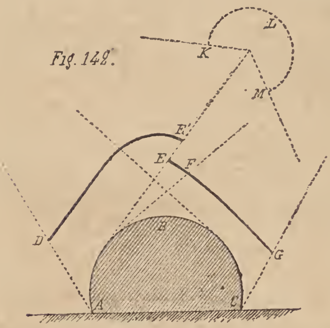
Ademas de la modificacion anterior en la direccion del viento, debemos hacer una correccion relativa á la marejada, que en ocasiones muy desfavorables alarga el ángulo de bolina hasta 8, 9 y 10 cuartas [158]. Como los razonamientos que hagamos serán independientes de este ángulo, supondremos que el ángulo de bolina con que navegue el buque sea de 8 cuartas.

Principiaremos determinando el valor angular dentro del cual puede navegar el buque sin obstáculo para tomar el puerto, ó los valores angulares (si dentro de aquel hubiese obstáculos que interrumpiesen la marcha del buque para ciertos rumbos); y tracemos, con relacion á los rumbos límites, los ángulos de bolina por la parte de tierra; estos determinarán los vientos extremos, y dentro del ángulo que formen por la parte del mar, podrá directamente penetrarse en el puerto.

Tracemos ahora el ángulo límite por el cual penetra la marejada en el puerto, que en general será mayor que el primero, y lo comprenderá; todo este ángulo deberá estar á cubierto de la accion directa de la marejada. Sea, por ejemplo, *ABC* (fig. 141) el espacio que se desea abrigar,



ó el fondeadero; la marejada penetrará en todas direcciones en el espacio comprendido en el ángulo *MNP*. Si desde los puntos *M* y *P* trazamos dos círculos cuyos radios sean los resguardos que deban darse á los cabos *P* y *M*, el ángulo *P′BM′* comprenderá todos los rumbos que el buque puede seguir para alcanzar el puerto: de manera, que para abrigar el puerto es necesario un dique *DEG*, cuyas cabezas se apoyen en las líneas *DM* y *GP*. Pero de este modo la entrada en el puerto se hace imposible, pues queda cerrado por el dique el paso, en el ángulo *M′BP′*, por el cual habrá de verificarse la entrada. Supongamos una abertura en el punto *E*, es decir, que el dique establecido se quiebra en dos; en semejante caso (fig. 142) las cabezas correspondientes de los diques, estarán sobre la tangente tirada desde el punto *E* al espacio límite que se quiere abrigar, pero de tal manera que el dique más avanzado sea el del lado de la tangente, es decir, el *DE′* en el primer caso, ó el *GE* en el segundo.

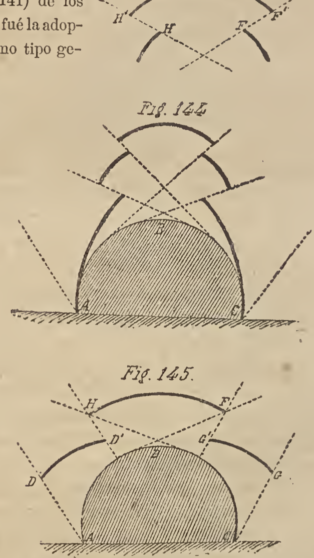


Dada esta entrada, ¿con qué vientos se podrá tomar el puerto? Es evidente que si trazamos el ángulo de bolina por la parte de tierra á un lado y á otro de la direccion *EE′*, el buque podrá tomar directamente el puerto con todos los vientos que corresponden al arco *KLM*. Otra solucion estaria dada por la segunda tangente al espacio que forma el puerto, pero entónces el dique *DE′* deberá ser el más retirado.

De aquí resulta, que haciendo girar la recta *EE′* permaneciendo tangente al espacio *ABC*, tendremos un número infinito de soluciones para la posicion de la boca, comprendiendo cada una de ellas un cierto número de vientos con los cuales es posible entrar directamente, escogiendo entre todas la que dé el mayor número de vientos con los cuales importe más tomar directamente el puerto entre los límites *P″F* y *M′H* (fig. 141). De

donde se deduce, que á medida que nos acerquemos á uno ú otro límite, así ganaremos vientos en uno ú otro sentido.

En vez de una sola boca pueden disponerse varias, en cuyo caso tendremos: 1.° Que para ciertos vientos sólo será posible la entrada por una de las bocas. 2.° Que para otros será posible indiferentemente por las dos; bastará para determinarlo hacer la construccion anterior (fig. 142) para las dos entradas, y ver qué parte del arco *KLM* es comun ó no á ellas. Si nos decidimos por establecer dos entradas, vendremos á parar á la forma de la (fig. 143). De manera que si queremos el número mayor de vientos con que es posible entrar en un puerto, es necesario establecer dos entradas en las direcciones *HM'* y *EP'* (fig. 141) de los rumbos límites. Esta solucion fué la adoptada por los romanos, casi como tipo general de sus puertos.

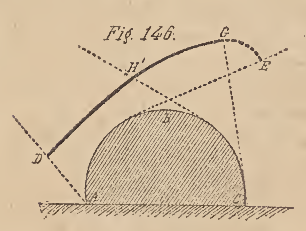


Si queremos facilitar más la entrada, procederemos de la misma manera aumentando el número de bocas; la figura 144 indica el trazado para el establecimiento de un puerto con cuatro bocas.

En el caso general que estudiamos están comprendidos algunos particulares. La línea límite de la marejada puede ser tal que resulte inferior á la del rumbo límite de entrada, en cuyo caso el dique ó los diques (figura 145) no deberán tener sus cabezas en la línea ó líneas del rumbo límite, sino en la de la direccion ó direcciones extremas de la marejada. Así, por ejemplo, en el caso de

la figura, pueden adoptarse varias soluciones entre las cuales damos la de la fig. 145. Trazado el dique *HF*, tiraremos por sus extremidades líneas paralelas á las direcciones límites de la marejada, y en ellas se situarán las cabezas *D′* y *G′*.

Otro caso particular seria el de un solo dique; supongamos el de la fig. 146, y que los vientos con los cuales sea preciso verificar la entrada directamente, permitan pasar por la boca *G*; es claro que bastará entónces un solo dique terminado en *G*, que no habrá necesidad de prolongar hasta *E*. Lo ordinario es sacrificar á la economía las condiciones de abrigo ó de facilidad de entrada, y establecer un solo dique, ó á lo más dos. Llamamos la atencion sobre el trazado indicado en las figuras 143 y 144, que bajo todos conceptos consideramos como el mejor (por más que lo caro de la solucion haga que no se adopte) para que no se confunda con el sistema de diques interrumpidos, de que ya tratamos [118], y de que más tarde volveremos á ocuparnos.



Aquí sólo hemos discutido el trazado de los diques bajo el punto de vista de la accion directa de la marejada, pero el problema se complica y toma en cada caso particular distinto aspecto, si consideramos la accion indirecta ó las resacas. Así, por ejemplo, en el puerto de Cádiz la marejada corre del Sudoeste al Oeste, pero se hace sentir duramente en el interior del puerto como viniendo del Norte [114], y por eso al proyectar los diques, deberá darse el abrigo desde el Sudoeste al Norte. De adoptar para este puerto la orientacion Este-Oeste de la boca que propone la Junta consultiva de Obras públicas, será imposible resistir dentro del puerto los temporales del Sudoeste.

Para ejemplo de lo que en muchas ocasiones ayudan las condiciones locales, y cómo, con obras sencillas, cambian por completo las condiciones de un puerto, presentamos aquí como muestra de ello á San Estéban de Pravia, pequeño puerto de la costa cantábrica, pero cuyas circunstancias le hacen á propósito para un estudio de esta naturaleza.

173. Puerto de San Estéban.—El puerto de San Estéban (fig. 147) se encuentra situado en la desembocadura del Nalon, en el saco que forma la costa al Oeste el cabo de Peñas; la direccion de su canal es Norte-Sur próximamente al desembocar en el mar. La costa, muy escarpada, corre de Este á Oeste en la márgen izquierda, ó del Oeste, y al Este se extiende un vasto arenal. La costa del Oeste despide hácia el mar bajos de roca que se extienden á unos 500 metros de ella próximamente, y en la extremidad de la barra *A*, una roca *B* que vela en bajamar, obstruye el canal. Los buques tienen que evitar: 1.° Los bajos del Oeste. 2.° La peña que ocupa el canal. 3.° El varar en el arenal del Este. Con todos estos obstáculos no hay medio de entrar sino en una enfilacion marcada en tierra, y si se separa de ella, hay riesgo de perecer. Por esta razon indica el derrotero, que sólo se puede tomar el puerto con vientos del Norte hasta el Noroeste, para los vientos tormentosos del tercero y cuarto cuadrante, ó á lo sumo para el Oeste-Noroeste; es decir, á un largo. Esto limita la entrada para los vientos tormentosos á una tercera parte.

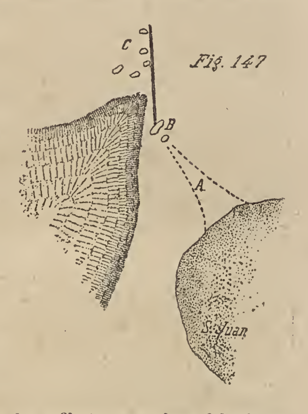


Fig. 147

Los buques que intenten tomar el puerto de San Estéban lo hacen dentro del ángulo que comprende desde el Oeste-Noroeste al Nordeste por el Norte, ángulo dado por las enfilaciones por fuera del cabo de Vidio por el Oeste, y de la peña de la Deva por el Este, con los resguardos necesarios; y para que las embarcaciones tomen el puerto en todas estas enfilaciones y no en la Norte-Sur ántes indicada, se necesita: 1.° Que las obras lleguen hasta la línea exterior de los bajos, proyectando un dique *BD* desde la costa á la línea exterior de ellos. Entónces ya el buque no tendrá recelo en dirigirse á la cabeza *D* del dique y atracarse á los bajos, porque alcanzando la cabeza se encuentra á salvo. De esta manera evita la playa del arenal del Este, que ya no debe inspirar temor alguno. 2.° Debe

además volarse la peña *B* que obstruye la canal, empresa fácil y poco costosa.

Antes de discutir para qué vientos es posible la entrada, haremos notar que la marejada le es aquí favorable; su direccion con los vientos tormentosos es del Noroeste, y si bien la corriente marcha en la vaciante de Sur á Norte, podrá embarazar la entrada, pero de ningun modo abatir el buque, porque obra siempre en la direccion de la canal. De modo, que no incurririamos en exageracion, si en vez de siete cuartas supusiésemos al buque navegando en seis [158].

Con temporales, se toma el puerto en la actualidad sólo hasta los vientos del Oeste-Noroeste. En efecto, para huir de los bajos, es forzoso embocar el canal en la direccion Norte-Sur, lo cual, segun queda dicho, deberá hacerse á un largo, por los peligros que rodean la boca, y sobre los cuales seria fácil arribar marchando de bolina. Construido el dique, todos los riesgos quedan por la parte de tierra en una línea Este-Oeste trazada por la cabeza, y nada hay que impida al buque dar las bordadas necesarias hasta colocarse en la enfilacion conveniente. Cuando sopla el Sudoeste, límite por el Sur de los vientos tempestuosos y reinantes durante el invierno, la enfilacion que necesita tomar el buque para abocar el puerto, no pasa del Noroeste $^1/_4$ al Norte ó Noroeste, para los buques que navegan del Oeste. Con los vientos del tercero y cuarto cuadrante la navegacion de Este á Oeste se interrumpe en la costa cantábrica; de donde resulta, que siempre se tomará San Estéban sin dar bordadas, á un largo ó en popa.

Los que navegan con la direccion de Oeste al Este habrán doblado el cabo Ortegal, y los que vengan en aquella direccion de Luarca, Rivadeo ó de cualquiera de los puertos de aquella costa, podrán ganar hasta con vientos del Sur $^1/_4$ al Sudoeste el puerto de San Estéban, manteniéndose zafos del cabo Vidio y de los escollos que despide.

Con vientos tempestuosos del Noroeste al Norte la entrada es en popa y tambien con los bonancibles y reinantes en verano del Norte al Nordeste. Desde aquí al Sudeste, se toma á un largo y de bolina con una cuarta más. Los demas vientos sólo reinan accidentalmente en aquella costa, y rara vez soplan más de veinticuatro horas; de manera que sólo quedan cuatro cuartas, con las cuales la entrada no puede hacerse directamente. Estas cuatro cuartas pueden ganarse saliendo fuera del ángulo formado con las enfilaciones de la Deva y Vidio. En efecto, doblado el cabo Vidio, no hay

inconveniente en correrse por el Oeste hasta el paralelo de la cabeza del dique, con lo cual se ganan dos cuartas, y otras dos corriendo bordadas dentro del saco en que desemboca el Nalon; y en definitiva, será, una vez terminadas las obras, fácil tomar el puerto de San Estéban con cualquier viento.

Tampoco habrá entónces temor de que escasee el viento ni de que venga racheado [24] al emparejar el buque con la sierra, que forma la márgen izquierda de la ria; cuando esto suceda, ya estará al abrigo del dique y dentro del puerto.

Desapareciendo la peña *B*, la corriente que hoy lleva los buques sobre este bajo, con grave riesgo de echarlos á pique, se mantendrá en el eje del canal, y el buque no tendrá reparo en arrimarse al dique, ántes bien buscará el abrigo que éste le presta y los auxilios que desde él recibirá.

En cuanto á la salida, poco tenemos que decir; se hará á un largo con los vientos bonancibles del primer cuadrante. Con los temporales del cuarto ningun buque se arriesgará á hacerse á la mar en aquella costa brava, pero aún puede salirse directamente con los vientos desde el Noroeste $^1/_4$ al Norte, al Norte $^1/_4$ al Nordeste por el Sur; las cuatro cuartas que faltan para completar la Rosa, se pueden ganar de la manera que dijimos para la entrada, dando una bordada fuera del ángulo formado con los cabos Vidio y Peñas hasta ponerse en franquía.

Hacemos observar, que en lo que precede suponemos que el buque navega de bolina en siete cuartas, el ángulo más desfavorable; si el buque navegase en seis cuartas, ya podria entrar con cualquier viento dentro del ángulo señalado.

No examinamos el caso de que el puerto esté precedido de una rada que permita al buque dar bordadas; la solucion está sometida á las mismas reglas, y aunque por lo general sea más sencilla, no deja en ocasiones de dar orígen á estudios difíciles. Sirvan de ejemplo el proyecto del puerto de refugio del Musel, en la costa cantábrica, y el del puerto de Cádiz. El estudio relativo al primero, hoy en curso de publicacion, es un modelo, no sólo por el método é inteligencia con que allí se estudian las cuestiones locales, sino tambien por la manera de tratar las que por su carácter general son aplicables á todos los puertos. Los límites y naturaleza de esta obra nos impiden hacer una análisis de ella, prefiriendo referirnos á la obra misma, que muy en breve verá la luz pública.

CAPITULO X.

MATERIALES EN EL MAR.

RESUMEN.

174. Causas de destruccion de los materiales en el mar.—175. Piedras.—176. Cales hidráulicas.—177. Clasificacion de las cales.—178. Causas del endurecimiento de las cales hidráulicas.—179. Propiedades de los elementos que componen una cal hidráulica.—180. Influencia del grado de coccion.—181. Influencia de las sustancias extrañas que suele contener una cal hidráulica.—182. Influencia de los elementos disueltos en el agua del mar en la descomposicion del mortero.—183. Aplicacion á las puzzolanas y á las mezclas de varias cales.—184. Morteros sumergidos despues del fraguado.—185. Condiciones reales en que los morteros se encuentran en las obras.—186. Ensayos.—187. Morteros magnesianos.—188. Morteros en que no entra la cal.—189. Revestimientos y enlucidos.—190. Maderas atacadas por la broma.—191. Descripcion del teredo.—192. Influencia de la clase de madera.—193. Preservativos.—194. Revestimientos metálicos.—195. Barnices.—196. Inyecciones de sales metálicas.—197. Inyecciones de creosota.—198. Propiedades de la creosota.—199. Metales.—200. Hierro.—201. Varios metales y aleaciones.—202. Preservativos.

174. Causa de destruccion de los materiales en el mar.—Estudiamos aquí los materiales sólo bajo el punto de vista de su conservacion y de sus alteraciones cuando se encuentran sumergidos en el agua del mar. Nada diremos por lo tanto de sus propiedades generales y de su clasificacion, cuando estas no ejerzan una influencia directa en la situacion especial en que los suponemos colocados.

La accion, ya destructora, ya preservatriz del agua del mar, se puede considerar bajo tres aspectos: 1.° De su accion mecánica. 2.° Química. 3.° La de los cuerpos orgánicos, plantas ó animales que viven en ella. Estas causas obran, ó aisladas, ó combinadas entre sí; ya predominando al-

gunas ó ejerciendo por igual su accion, ya tendiendo á destruir, ó ya á preservar. En las piedras de construccion, las acciones mecánicas son las más de temer, y por eso se eligen las más duras, especialmente para los paramentos de las obras. Hay, sin embargo, casos en que las segundas, y sobre todo las terceras, desarrollan su influjo con grande energía. En los morteros, por ejemplo, cuando constituyen hormigones formando piedras artificiales, aunque las acciones mecánicas tengan importancia, la tienen mucho mayor las químicas ejercidas por las sales disueltas en el agua del mar, al paso que las orgánicas ejercen una accion preservatriz.

En las maderas y metales, las acciones mecánicas son poco de temer, al paso que las orgánicas en las primeras y las químicas en las segundas, son causas enérgicas de una rápida destruccion. Por eso limitaremos en cada caso á los elementos más predominantes el exámen que vamos á hacer de los materiales.

175. Piedras.—Nada diremos de las acciones mecánicas de las olas sobre las piedras; las más duras serán las mejores para resistir; pero hay una accion mecánica que se ejerce sobre ciertas piedras porosas y permeables (las areniscas especialmente) que conviene no echar en olvido: cuando estas piedras se ven expuestas á una inmersion alternativa, ó á las emanaciones salinas del agua del mar, las sales que esta deja al evaporarse desarrollan sobre ella al cristalizar una accion destructora análoga á la del hielo. Semejantes piedras no son duraderas en tales condiciones, y su rápida destruccion está acusada en todas las obras contiguas al mar, no pudiendo atajar sus efectos sino por medio de los preservativos de que más adelante trataremos. Estas piedras resisten, sin embargo, y son duraderas si se las coloca en situacion de estar constantemente sumergidas.

Tambien influye en la duracion de las piedras, la posicion que en la obra ocupan: si están cubiertas por una gran masa de agua, á la cual se trasmite débilmente la agitacion de las olas, exigirán ménos resistencia que cuando la capa que las cubre es muy pequeña, y ménos aún que cuando el mar rompa sobre la construccion.

Otra accion mecánica, ademas de la de las olas, la ejercen los materiales arrastrados ó removidos por la corriente. En Dover fué necesario apelar al granito para oponerse á los efectos que la masa de cantos rodados producia en los paramentos. Otro tanto sucede en el puerto de Saint-Valery-en-

Caux, en la costa de Normandía; las estrías abiertas en el dique del Oeste son tan profundas, que puede meterse el brazo dentro de algunas de ellas.



Ciertos moluscos suelen, en algunas localidades, destruir las piedras más duras. Los *pholas* ó *pholados* y los *saxicavos* (figuras 148, 149 y 150), dos géneros de conchas muy parecidos, taladran la arcilla, la caliza y hasta las rocas más duras, como el gneis, abriéndose en ellas moradas donde pasan la vida. Estos agujeros, de 15 centímetros próximamente de profundidad, se encuentran tan inmediatos, que la piedra no resiste al embate de las olas, y pronto se presenta á la accion de aquellos moluscos otra superficie nueva, que es á su vez horadada. Algunos erizos poseen tambien la facultad de perforar la roca. Uno de los ejemplos más notables de la accion de los pholados ó de otros géneros do conchas análogas, es el tan conocido del monumento llamado templo de Serapis, en Puzzolo, que acusa una revolucion geológica ocurrida en la época histórica; ejemplo analizado y discutido minuciosamente por Lyell.

176. Cales hidráulicas.—Pero

entre los materiales de esta clase, los morteros y hormigones son los que más interesa estudiar al Ingeniero; y esta cuestion es, desde hace treinta años, el objeto de las controversias y discusiones mas animadas, sin que por eso deba hoy darse por resuelta, ni se haya conseguido venir á un acuerdo definitivo. El problema es tan complejo, y tan variados los elementos que en la práctica entran en juego, que áun resuelta la cuestion teórica, queda en pié la de aplicacion y la industrial. Apesar de todo, no hay más remedio que acudir á la teoría, si se ha de adquirir alguna luz acerca del modo de realizarse la descomposicion.

Para alcanzar de una manera completa el objeto que nos proponemos, seria necesario estudiar extensamente cuanto á la fabricacion de la cal y manipulacion de los morteros se refiere; porque todo influye en la conservacion y estabilidad de los compuestos hidráulicos; el grado de coccion, los procedimientos empleados para apagar la cal, el agua, la arena, el amasado, tienen una importancia acaso tan grande como la misma composicion química. En la necesidad de renunciar á este propósito, remitimos al Ingeniero á los tratados generales de construccion y á los especiales que sobre cales y morteros se han escrito (*a*), limitándonos aquí á resumir la clasificacion de Vicat, como base de los conocimientos necesarios para resolver la cuestion química.

177. Clasificacion de las cales.—Toda cal hidráulica es un compuesto de arcilla y cal con sustancias inertes en pequeña cantidad. Vicat llama índice de hidraulicidad la relacion entre la arcilla y la cal cáustica que contiene, y son *eminentemente hidráulicas*, *medianas ó débilmente hidráulicas*, segun que los índices estén comprendidos entre 0,36 y 0,40; 0,30 á 0,36 y 0,24 á 0,30; que corresponden de 0,17 á 0,20; 0,15 á 0,17; y 0,12 á 0,15 de la caliza arcillosa pura, en el supuesto de estar formada la arcilla por 64 partes de sílice y 36 de alúmina.

La composicion de la arcilla hace variar esta regla; una caliza que contenga 20 por 100 de arcilla, se comportará de distinta manera segun que la composicion de esta sea de 47 partes de sílice por 53 de alúmina, ó que contenga 73 de la segunda y 27 de la primera. Por eso quizas el mismo Vicat en una Memoria anterior á la de 1856, á que nos referimos, emplea otra clasificacion y otros números para los índices respectivos de hidraulicidad. Considera como tipo de las cales *medianamente hidráulicas*

(*a*) Véanse los apéndices.

las que tienen 0,22 por índice de hidraulicidad, ó 0,11 de arcilla en la caliza; á las *hidráulicas ordinarias* les señala 0,36 y 0,17 respectivamente, y 0,44 y 0,20 á las *eminentemente hidráulicas.*

Cuando las calizas contienen de un 20 á un 23 por 100 de arcilla, los productos resultado de su calcinacion, no fraguan, ó si presentan apariencias de fraguado se deshacen rápidamente con la inmersion. Este punto singular de transicion, ha hecho dar á estas cales el nombre poco característico de *cales límites,* porque separan las cales hidráulicas de los *cementos.* Vicat atribuye esta anomalía á que el compuesto químico que resulta no es estable, y tiende, al hidratarse, á dividirse en otros dos más estables; de aquí la desagregacion del compuesto. Los cementos contienen de 23 á 30 por 100 de arcilla, y desde aquel límite hasta el 40, las propiedades hidráulicas se debilitan, y sólo fraguan con la adicion de una parte de cal, tanto mayor cuanta ménos cal contenga la caliza. A las sustancias arcillosas calcinadas, y á los productos volcánicos naturales, susceptibles de fraguar cuando se amasan con cal, se da el nombre de *puzzolanas.* Cuando otra cosa no se exprese, comprenderemos para abreviar bajo el nombre de cales hidráulicas, así las que propiamente lo son, como á los cementos y á las mezclas puzzolánicas.

Desde 0,40 como índice de hidraulicidad, ya se entra en las cales límites hasta 0,46, pero al llegar á 0,75 se pasa á la categoría de los buenos cementos, que ninguna accion salina ataca y que pueden recibir un volúmen de arena igual al suyo.

Lo mismo que para las cales, da Vicat otros tipos para la composicion de los cementos y puzzolanas en su Memoria de 1840. Considera como tipo de las *cales límites* el número 0,53 ó 0,23 de arcilla en la caliza; á los *cementos límites inferior,* 0,65 y 0,27; 1,00 y 0,36 á los cementos ordinarios; y por último, 2,73 y 0,61 á los *cementos límite superior.* En 9,00 ó 0,83 principian las *puzzolanas.*

Todas estas reglas empíricas están subordinadas á la composicion de las arcillas, á la duracion é intensidad de la coccion, que juega un importante papel en la combinacion de los elementos de la cal, y por consiguiente en su hidraulicidad. El mismo Vicat vimos que señalaba para las cales límites un índice de 0,40 á 0,46, y en otra Memoria les da por término medio 0,53; y el cemento de Portland, el más seguro en sus efectos, entra por su composicion en la categoría de las cales límites.

Prácticamente se reconoce la hidraulicidad por medio de una aguja de poco más de un milímetro de diámetro, limada normalmente en sus extremidades, cargada con un peso de 0,30 kilógramos. La cal será eminentemente hidráulica cuando la pasta haya fraguado transcurridos de dos á seis dias, se haya endurecido al cabo de un mes, y á los seis salten astillas por el choque. En las medianas, el fraguado se verifica entre el sexto y noveno dia, y adquiere consistencia despues del cuarto al quinto mes. Y por último, las débilmente hidráulicas, fraguan desde nueve á quince dias, y á los seis meses su consistencia no excede de la del jabon duro.

178. Causas del endurecimiento de las cales hidráulicas.—¿Cuál es la causa del endurecimiento de las cales hidráulicas? Desde este punto capital ya principian las divergencias entre los químicos. En lo que sigue supondremos una cal hidráulica pura y homogénea en su composicion, y perfecta la combinacion de sus elementos: partiendo de este supuesto teórico, la composicion de las cales naturales, producto de las rocas calizas, se puede reproducir artificialmente desde las grasas hasta aquellas puzzolanas que carecen por completo de cal. Toda cal hidráulica tomada en su acepcion más lata [177], está formada: 1.° De un silicato de cal. 2.° De un aluminato de la misma base. 3.° De un silicato doble de alúmina y cal. 4.° De cal cáustica libre. Esta va disminuyendo desde las cales débilmente hidráulicas á las puzzolanas. En los cementos predomina el silicato doble, al paso que disminuye el aluminato.

Sea la que fuere la sustancia, alúmina ó sílice, que produce el endurecimiento de la mezcla, este parece ocasionado por una hidratacion del silicato ó del aluminato de cal, ó de ambos á la vez; aunque en presencia de los hechos contradictorios que más tarde consignaremos, no es posible fundar ninguna teoría. Áun conviniendo en la exactitud de aquellos, seria difícil determinar las reacciones que se desarrollan entre los diferentes cuerpos que forman las cales y los que contienen disueltas las aguas en que aquellas son sumergidas; y entónces, es claro, no hay modo de convenir en las deducciones sacadas, y unos darán por bueno lo que otros condenen como perjudicial. En medio de tantas opiniones encontradas tomaremos como punto de partida el trabajo de los Ingenieros Rivot y Chatonay, sin perjuicio de hacer resaltar sus discordancias con otros autores. Principiemos, pues, por recordar las principales propiedades de los dos elementos de la hidraulicidad, la sílice y la alúmina.

179. Propiedades de los elementos que componen una cal hidráulica.— *Sílice.*—La sílice es un óxido enérgico á elevadas temperaturas, pero tan débil á la temperatura ordinaria, que un exceso de agua basta para desalojarlo de sus combinaciones cuando son formadas por la via húmeda. Combinada con la alúmina puede ser atacada por la cal en exceso en presencia del agua, formándose silicato y aluminato de cal. Estas reacciones son muy lentas y dependen de mil circunstancias, influyendo entre otras la cantidad de cal, composicion de las arcillas, estado de division y de mezcla de los componentes, y sobre todo de la cantidad de agua en presencia de la cual se verifiquen las reacciones.

Alúmina.—La alúmina, por la via húmeda, obra siempre como ácido en presencia de una base más enérgica, y por lo mismo no es posible la formacion de un silicato doble de alúmina y cal (Rivot y Chatonay). La alúmina, por la via seca, no es ácido sino en presencia de un exceso de base, y su energía parece disminuir á medida que la temperatura es más elevada, formándose entónces silicatos dobles de alúmina y cal, y no aluminatos (Rivot).

Segun los experimentos de Fremy, la alúmina á elevadas temperaturas obra como fundente de la cal, y las propiedades hidráulicas del compuesto son tanto más enérgicas, cuanto más elevada es la temperatura á que aquel se ha obtenido; llegando con la fusion al máximo, segun se observa en la fabricacion del cemento de Portland (Fremy).

Esta contradiccion quizas se explique porque en los experimentos de Fremy entraba sólo la alúmina, que es un ácido respecto de la cal; si entrase la sílice, entónces se formaria el silicato con preferencia. Los aluminatos de cal muy básicos, esponjan en el agua como la cal viva, y no pueden adquirir ninguna propiedad hidráulica (Fremy).

¿Cuáles son las sustancias verdaderamente hidráulicas? ¿En qué circunstancias es posible formarlas? Aquí principia la divergencia entre los químicos; y unos, con Berthier y Kulman, atribuyen la hidraulicidad exclusivamente al silicato de cal; los otros, con Fremy, se la niegan en absoluto; y, por último, Vicat supone las dos necesarias, determinando la alúmina la rapidez del fraguado y la sílice la cohesion final del mortero.

La sílice, segun Rivot, posee las facultades hidráulicas combinada íntimamente con la cal en frio: si se mezclan, dice, íntimamente una caliza y arena muy fina, cuidando que no exceda esta de 75 por 100, se forma un compuesto de silicato y de cal libre que posee cualidades hidráulicas

(Rivot). La fórmula del silicato es $Si.O^3$, $3CaO$, que despues del fraguado se convierte en $Si.O^3$, $3CaO+6HO$. Pues bien, Kulman, refiriéndose á Berthier, dice que ensayadas diferentes mezclas de creta y arena fina sólo han dado por resultado cales áridas, y los repetidos experimentos de Vicat le han conducido á los mismos resultados. Es verdad que Rivot exige para ello ciertas precauciones, que supone no han sido observadas por los impugnadores. Vicat afirma que la sílice no obra en frio sobre la cal, sino en estado gelatinoso; las mezclas de sílice y cal grasa adquirian momentáneamente una gran dureza, pero se desagregaban en un intervalo que variaba entre 9 y 15 meses.

Kulman combinó la sílice en gelatina con la cal por la via seca, y si bien para pequeñas porciones de la primera no obtenia señales de hidraulicidad, el silicato resultante presentaba en grado eminente las cualidades hidráulicas cuando entraba por un 40 por 100 en la mezcla. Esto mismo obtuvo calcinando la sílice en gelatina con creta.

Rivot habla de las excelentes cales hidráulicas obtenidas calcinando sílice porfirizada con cal grasa, y empleadas en los trabajos de la exclusa de la Florida en el Havre. Si se someten á una coccion moderada 20 á 25 partes de sílice con 80 á 75 de piedra caliza, se obtienen excelentes cales hidráulicas. Fremy (que en su Tratado de química general acepta las condiciones de Rivot), en una Memoria especial, niega que ni por la via seca ni por la via húmeda, ni con la sílice pulverizada ni en gelatina, haya podido obtener un compuesto hidráulico.

Respecto de la alúmina, Kulman afirma no haber obtenido señales de hidraulicidad calcinando 19 partes de alúmina con 100 de creta, sin conseguir mejores resultados aumentando la dósis de alúmina, y de aquí deducia que el único cuerpo hidraulizante es la sílice. Fremy emprendió una serie de ensayos, de los cuales resulta todo lo contrario, que los aluminatos representados por

$$Al^2O^3, \left\{ \begin{array}{l} CaO \\ 2CaO \\ 3CaO \end{array} \right.$$

fraguaban casi instantáneamente y poseian ademas la facultad de aglomerar sustancias inertes, como el cuarzo, hasta la proporcion de 50 á 80 por 100: estas mezclas adquirian la dureza de las piedras.

Por último, Vicat explica la hidraulicidad por la hidratacion de los

silicatos dobles de alúmina y cal, á los cuales niega Fremy propiedad alguna hidráulica. Fremy no niega, sin embargo, la influencia de los silicatos de cal y de los dobles de cal y alúmina en el endurecimiento de las cales hidráulicas, pero no atribuyéndolo á la hidratacion, sino á una accion puzzolánica (es decir, á una accion química en frio en presencia del agua), de la cal hidratada en exceso, sobre aquellas sales. La accion es mayor cuando el hidrato de cal está representado por CaO, HO. Fremy ha encontrado las sustancias puzzolánicas más escasas de lo que ordinariamente se supone, siendo las verdaderamente activas los silicatos de cal simples ó múltiples que sólo contengan de 30 á 40 por 100 de sílice y sean bastante básicos para formar gelatina con los ácidos; deduciendo de todo que las rocas que den mejores cales hidráulicas naturales ó las mezclas más convenientes para obtenerlas, son aquellas que den por resultado de la coccion los compuestos

$$Al^2O^3, \left\{\begin{matrix} CaO \\ 2CaO \\ 3CaO \end{matrix}\right\} + SiO^3 \left\{\begin{matrix} 2CaO \\ 3CaO \end{matrix}\right\} \text{ y cal libre.}$$

La composicion química de los cementos de buena calidad es, segun Rivot,

$$(SiO^3, 3CaO) + (Al^2O^3, 3CaO),$$

que entra en los tipos anteriores; hidratándose entónces el silicato con 3HO en vez de 6HO, á lo que atribuye la accion más enérgica de estos compuestos y el mayor endurecimiento.

Kulman deduce de sus experimentos, que las mejores arcillas para obtener buenas cales hidráulicas son aquellas en que la sílice y la alúmina entran por partes iguales, lo cual está bastante conforme con la opinion de Vicat ántes consignada. Segun Rivot, se obtienen buenas cales arcillosas que resisten bien á la accion del mar, por una coccion moderada de 20 á 22 partes de arcilla por 80 de piedra caliza pura. Vicat afirma que en toda cal hidráulica en la cual la sílice represente los $^3/_4$ de la arcilla, el índice de hidraulicidad para la cal empleada en los sillares sumergidos despues de secos, no debe bajar de 0,39; ni de 0,42 para el caso de inmersion inmediata, si han de resistir á la accion salina.

180. INFLUENCIA DEL GRADO DE COCCION.—La temperatura tiene una gran influencia en la composicion química del producto que se obtenga; á una elevada, tenderá á formarse el silicato doble en tanta más abundancia cuanto mayor sea la cantidad de arcilla de la caliza, y tanto menor la cal que contenga; y la parte de esta que quede libre, será tambien mayor cuanto ménos arcillosa sea la piedra caliza y mayor la temperatura que permita expulsar más cantidad de ácido carbónico. Así pues, una cal hidráulica, puede acercarse á los cementos por una coccion incompleta que no expulse todo el ácido carbónico de la caliza.

Sobre estas cales poco cocidas, en las cuales queda una parte sin descomponer, hay variedad de opiniones; unas veces descubren propiedades hidráulicas, al paso que otras no fraguan. La hidraulicidad atribuida por Minard á la formacion de un subcarbonato, tiene explicacion más sencilla, suponiendo que la combinacion se ha verificado sólo con una parte de la cal descompuesta, quedando como materia inerte el resto del carbonato. Si este, con relacion al resto de la cal, se encuentra en exceso, el fraguado no se realiza, al paso que constituye en otros casos una especie de mortero con cemento.

Los cementos tostados, es decir, aquellos en que la coccion se lleva á un grado tal que realiza, aunque incompletamente, la fusion de la materia, no presentan al principio propiedad alguna extraordinaria; ántes por el contrario, son muy lentos en fraguar, aunque en épocas variables, segun las condiciones de la torrefaccion; pero si la observacion se prolonga hasta algunos meses despues, las resistencias sobrepujan á cuanto es posible imaginar; de tal modo, que la cohesion que para los mejores cementos no excede de 12 á 15 kilógramos por centímetro cuadrado, llega para los tostados empleados puros, á 50 kilógramos. El cemento de Portland, cuya composicion (0,46 índice) toca á las cales límites [177], participa de estas propiedades. Feburiez ha empleado con gran éxito cales hidráulicas de doble coccion, cuyo índice de hidraulicidad variaba entre 0,47 y 0,56; es decir, dentro de los límites que Vicat señala para las límites.

181. INFLUENCIA DE LAS SUSTANCIAS EXTRAÑAS QUE SUELE CONTENER UNA CAL HIDRÁULICA.—Los cuerpos extraños que las cales hidráulicas suelen contener son los siguientes:

Sílice en granos ó arena.—Si bien durante la coccion puede una pe-

queña parte ser atacada por la cal, el resto es sustancia inerte que se agrega á la arena de los morteros.

Magnesia.—La magnesia desempeña respecto de la sílice y de la alúmina el mismo papel que la cal; sus compuestos son susceptibles de hidratarse, dando productos insolubles que resisten, mejor que los de la cal, á la accion del agua, del ácido carbónico y de las sales que el mar contiene en disolucion. Á pesar de esto, su presencia en las cales hidráulicas es perniciosa por punto general, por varias razones. Porque la cal libre de aquellas, desaloja esta base de sus combinaciones, y es un elemento de descomposicion. Ademas, la hidratacion de sus compuestos no se verifica simultáneamente con la de la cal, y esto constituye tambien un elemento de desagregacion que, hasta hoy, no ha permitido utilizar las calizas magnesianas.

Quizás fuese posible obtener, para las construcciones marítimas, productos hidráulicos en los que solo interviniese la magnesia como base, con exclusion absoluta de la cal, pero la carestía de estos productos no ha permitido hasta hoy su generalizacion. Más adelante nos ocuparemos de ellos, formando un grupo separado en esta seccion.

El *óxido de hierro* es inerte; y cuando en ciertas circunstancias, por las reacciones de los elementos de la cal hidráulica, se forma un peróxido susceptible de combinarse con la cal y de hidratarse, es descompuesto fácilmente por el agua y el ácido carbónico (Rivot). Algunos químicos no son, sin embargo, de esta opinion, fundándose en la existencia del hierro en algunos cementos muy enérgicos, como los de Pouilly y Vassy con un 7 por 100, y el de Parker con un 14. Malaguti y Durocher emprendieron una serie de experimentos tendiendo á demostrar la hidraulicidad del hierro; pero no son, ni bastante numerosos, ni concluyentes, para fundar en ellos una teoría.

Sulfato de cal.—Su combinacion lenta con el agua produce cristales que aumentando el volúmen de la masa la desagregan. Es más perjudicial en los cementos de fraguado rápido que en las cales medianamente hidráulicas, porque el fraguado del yeso se verifica entónces con posterioridad al del cemento, y desagrega la masa ya solidificada. En aquellas cales en que el fraguado se realiza posteriormente al del yeso, la solubilidad de este aumenta la porosidad de la masa, y por consiguiente la energía de las causas de destruccion. Aquel sulfato suele formarse cuando se emplean

combustibles piridosos, y en los mares que contienen en disolucion hidrógeno sulfurado.

Potasa.—Segun Kulman, esta base aumenta extraordinariamente el poder hidraulizante de la mezcla. Añadiendo á la arcilla $^1/_{10}$ en volúmen de una disolucion de potasa marcando 5° del areómetro de Beaumé, ó doble de nitrato de potasa, la puzzolana obtenida llega á ser de calidad superior. Las buenas puzzolanas y los cementos contienen siempre aquella sustancia, que en el *trass* de Holanda varía entre un 5 y un 8 por 100.

Esto es, en resúmen, lo que relativamente á la composicion de las cales y á las reacciones entre sus elementos, nos es permitido decir para comprender cuanto sigue; lo que á las demas condiciones se refiere, es ajeno de este lugar, y respecto de ello hay las mismas dudas, la misma vaguedad y hasta las mismas contradicciones que en lo precedente; y así, miéntras Vicat recomienda la menor cantidad de agua posible para el amasado, con objeto de obtener una cohesion final en grado más elevado, Rivot aconseja el empleo en ciertos casos de un exceso de agua que facilite las reacciones. Y cuando éste expresa la conveniencia de facilitar cal libre que pueda en el exterior carbonatarse y cubrir el mortero de una capa inatacable, Vicat reprueba este procedimiento, pues el ácido carbónico tiene siempre suficiente energía para tomarla donde exista y formar la capa impermeable que proteja el sillar.

No entraremos á exponer los procedimientos de la manipulacion de los morteros; diremos tan sólo, sin entrar en detalles, que nos parece preferible, para apagar la cal, el de inmersion. En cuanto á la arena del mortero, debe desecharse la que sea pulverulenta y fina, y los granos han de tener de uno á dos milímetros de diámetro. La de mina que contenga arcilla no debe emplearse sin ser ántes lavada.

Los procedimientos de manipulacion no tienen grande influencia, con tal que la mezcla sea íntima. Cuando la arena es muy seca, la cantidad de agua por metro cúbico de mortero varía entre 180 y 200 litros; pero en lo que se debe insistir es, en que los morteros se empleen á medida que se vayan fabricando.

Con estos antecedentes pasemos al estudio, así bajo el punto de vista teórico como bajo el punto de vista práctico, de la accion que el mar ejerce sobre las mezclas hidráulicas sumergidas en él.

182. Influencia en la descomposicion del mortero, de los elementos disueltos en el agua del mar.—Se observó hace treinta años, que un gran número de mezclas sumergidas en el mar principian á desmoronarse al cabo de una inmersion más ó ménos prolongada, convirtiéndose en barro, y acabando por desaparecer despues de adquirir una consistencia muy notable. Algunas veces se resquebraja la masa, y por allí principia la desagregacion; ciertas rajas que se observan con el microscopio, dejan ver los cristales que han ocasionado la rotura, por un fenómeno análogo al del hielo ó inverso de él. En el momento en que estas hendiduras aparecen, la destruccion, más próxima ó más lejana, es segura. Otras veces se abren hendiduras en las mismas caras; y por último, cuando las cales ó cementos están muy cargados de cal, suelen formarse especies de pústulas, de donde mana una materia coposa blanca, compuesta de carbonato calizo mezclado con un poco de carbonato de magnesia. Veamos las causas de estas diferentes maneras de descomponerse.

El agua del mar contiene en disolucion varios elementos sólidos y gaseosos; entre los primeros figura en primer término el cloruro de sodio que, como sabemos [1], entra por un $2\frac{1}{2}$ por 100. Los sulfatos y cloruros magnésicos entre un 6 y un 13 por 1.000 los dos reunidos; y las demas sales no tienen influencia marcada sobre los morteros. De los gases, contiene ácido carbónico y á veces hidrógeno sulfurado.

En el primer período, esto es, durante el fraguado del mortero, las sales disueltas en el agua del mar no tienen influencia apreciable sobre aquel, por la pequeña cantidad de las sustancias contenidas en el agua que absorbe para hidratarse. El cloruro de sodio influye únicamente retardando el fraguado, ya mecánicamente, interponiéndose entre las moléculas de agua y las de las sustancias que debe hidratar, ya por la afinidad que existe entre el agua y el cloruro de sodio.

El ácido carbónico es perjudicial en este período; absorbido rápidamente por la cal cáustica, puede arrebatar parte de ella á la sílice y á la alúmina, haciendo ménos estable el compuesto. Otro tanto sucede con el hidrógeno sulfurado allí donde accidentalmente se forme, porque da orígen al sulfato de cal en cantidad apreciable.

Por último, en este período del fraguado, tambien influye desfavorablemente la falta de simultaneidad en la hidratacion de los dos elementos hidraulizantes, (el silicato y el aluminato de cal), y la perturbacion in-

troducida será tanto menor, cuanto ménos cantidad de alúmina contenga el compuesto hidráulico.

Pasado este primer período del fraguado, veamos lo que la accion continua del mar produce en la mezcla. Rivot no da gran importancia á las sales que el agua del mar mantiene en disolucion; dice que el agua de todos los mares contiene poco más ó ménos la misma cantidad de ellas, y que siendo así, no se explica cómo, compuestos que resisten en unos sitios, perecen en otros. Por eso señala á la destruccion de los compuestos las mismas causas que á los sumergidos en agua dulce, lo cual no está conforme con los resultados de la experiencia, ni tampoco es cierto que las sales de magnesia (el sulfato, por ejemplo), entren por igual cantidad en los diferentes mares, pues varían desde 3 á 7 por 1.000. Por otra parte, las distintas condiciones en que puedan encontrarse las mezclas, la agitacion del mar, etc., son otras tantas causas que activan ó atenuan la accion química de las sales.

En contra de la opinion de Rivot, daremos cuenta de una observacion constante para todo mortero descompuesto en el mar, la sustitucion de la cal por la magnesia; y como prueba citaremos la análisis de una lechada *(laitance)* hecha en la escuela de Puentes y Calzadas de Francia. Cien partes de ella se distribuian de la manera siguiente.

SUSTANCIAS.	INSOLUBLES.	SOLUBLES.
Arena silícea....................	2,888	»
Sílice..........................	2,692	0,075
Alúmina.......................	0,347	»
Cal libre.......................	0,345	»
— combinada..................	3,998	0,475
Magnesia......................	2,027	0,165
Acido carbónico................	2,570	»
— clorohídrico...............	»	1,545
— sulfúrico..................	»	0,290
Sosa y algo de potasa............	»	0,912
Total..........	14,267	3,462

El resto hasta 100, agua y pérdidas.

Estableciendo una comparacion entre las sustancias que constituyen el mortero y las que forman la lechada, encontraremos eliminado el ácido carbónico.

SUSTANCIAS.	LECHADA.	MORTERO.
Sílice..................................	26,38	23,06
Alúmina...............................	3,40	2,33
Cal......................................	42,54	74,61
Equivalencia en cal de 19,85 magnesia.....	27,68	
	100,00	100,00

Vemos la grande analogía entre la composicion del mortero y la de la lechada; las diferencias se explican por sí mismas.

Con estas premisas, supongamos un mortero permeable al agua del mar, y que esta se remueva libremente en su interior. El agua principiará por disolver la cal libre que encuentra en exceso, haciendo la mezcla cada vez más porosa, y favoreciendo la accion de las demas causas de destruccion; más tarde atacará la cal del aluminato, privándole lentamente de su base. El ácido carbónico se apoderará tambien de la cal libre, formándose carbonato; pero esta accion es beneficiosa, por cuanto da lugar á un compuesto estable que cierra los poros de la mezcla é impide el paso al agua. Vicat, en sus ensayos de laboratorio, cortaba las caries de las mezclas hidráulicas deterioradas, con sólo introducir $^1/_{10}$ de agua gaseosa en el agua del mar empleada en los ensayos.

Esta accion del ácido carbónico es, segun veremos, puramente mecánica, pues si la penetracion continuase, atacaria la cal del aluminato y más tarde la del silicato, hasta la completa desagregacion de la mezcla.

Las sales de magnesia (el sulfato y el cloruro) descomponen el aluminato de cal, ya por la mayor afinidad entre la alúmina y la magnesia, ya tambien por la de los ácidos sulfúrico y clorohídrico con la cal. El cloruro forma un compuesto soluble que aumenta la porosidad y debilita la mezcla; el sulfato forma ademas cristales de yeso que la desagregan.

Lo que precede es siempre en el supuesto de una permeabilidad y una renovacion indefinida del agua que penetra la masa; pero el ácido carbónico

ejerce su accion principal en la superficie, disminuyendo progresivamente hácia el interior; si pues la cal existe en la superficie en cantidad suficiente para ser carbonatada y tapar los poros, pero no tan excesiva que siendo disuelta haga más poroso el mortero, la descomposicion se detendrá. Esta tendencia á acumularse la cal en la superficie, existe por el efecto de la contraccion que experimenta el mortero en el momento del fraguado, y explica así, como los cementos son ménos atacados en el mar, porque al paso que la mayor contraccion los hace más densos y ménos porosos ó penetrables al agua, tambien es mayor relativamente el exceso de cal libre acumulado en el exterior. De otro modo las acciones serian sobre ellos más enérgicas que sobre las cales hidráulicas, pues se verificarian inmediatamente, no sólo sobre la cal libre, sino sobre los elementos activos del mortero (Rivot).

Por la misma razon, los morteros que se cubren de plantas y conchas, y los completamente sumergidos, en los cuales es más difícil la renovacion del agua que los penetra, resistirán con más energía que los privados de una defensa exterior ó los bañados alternativamente por las aguas del mar.

183. Aplicacion de lo que antecede á las puzzolanas y á las mezclas de diversas cales.—Las puzzolanas se encuentran en condiciones distintas de las cales y cementos: la combinacion de la sílice y alúmina con la cal, se realiza al mismo tiempo que el fraguado y áun mucho tiempo despues; de manera que el ácido carbónico y las sales que contiene el agua del mar, obran sobre la cal con que se mezclan más fácilmente que en las cales hidráulicas y en los cementos. Si con objeto de evitar tan funestos efectos, disminuimos la cal mezclada con la puzzolana, empobrecemos la mezcla, convirtiendo en materia inerte una gran parte de los principios activos que contiene. El mejor método para obtener con las puzzolanas productos que resistan á la accion del mar consiste, segun Rivot, en someter la mezcla, ántes de su empleo, á una digestion prévia en presencia de la cantidad conveniente de agua; de este modo se da tiempo á que las reacciones se verifiquen y la combinacion se realice.

¿Cuáles son las proporciones en que la puzzolana y cal grasa deben mezclarse? Ya expusimos ántes [177 y 178] la opinion de Kulman; Vicat opina que las arcillas refractarias de coccion normal que contengan alúmina entre 10 y 24 por 100, son propias para la inmersion inmediata,

mezcladas con 15 á 20 de cal. Ninguna puzzolana debe emplearse sin ensayos prévios, variando la cantidad de cal entre 10 y 20 por 100. Una puzzo lana para ser buena, no deberá dejar otro resíduo que un poco de arena ó cuarzo dividido, cuando se la trate por un ácido hirviendo ó por la potasa líquida, y será tanto mejor cuanto más fácilmente se disuelva.

La polémica entablada entre Vicat, Noel y Rivot, sobre los efectos de las puzzolanas en el agua del mar, ha terminado sin llegar á un acuerdo entre los sostenedores; se citaron por una y otra parte hechos en pró y en contra, y la cuestion es tan compleja, los fenómenos tan variados, las explicaciones tan difíciles de dar, que el empleo en el mar de aquellos compuestos hidráulicos, no debe aconsejarse sin grandes precauciones.

El empleo de las puzzolanas con la cal hidráulica en vez de la ordinaria, no es admisible, segun Rivot; aquellas sólo pueden obrar sobre la cal libre de la cal hidráulica, lo cual exigiria proporciones exageradas de esta para mezclar con la puzzolana; de otro modo, habria pérdida de principios activos que pasarian á ser inertes. Por otra parte, verificándose la hidratacion de los compuestos puzzolánicos en condiciones siempre diferentes de los de la cal hidráulica, resultaria un principio de desagregacion que destruiria prontamente la mezcla. Algunos hechos contradicen, sin embargo, estas observaciones. Feburiez cree que una pequeña cantidad de puzzolana añadida á ciertas cales hidráulicas, las hace más propias para resistir en el agua del mar. En los fuertes de Saint-Malo y Saint-Servan, empleó aquel Ingeniero con buen éxito, mezclas compuestas de cales de doble coccion, puzzolana y arena, en las proporciones respectivas de 5, 4 y 6. En Argel, consideraba Ravier las puzzolanas impropias para resistir con las cales grasas á la descomposicion salina, al paso que en sus ensayos, resistió la cal hidráulica de Theil mezclada con puzzolana; y mejor aún añadiéndoles arena, aunque el endurecimiento fuese ménos rápido.

El mismo Feburiez deduce de sus ensayos con el trass de Holanda, que esta puzzolana no resiste con cal ordinaria en el agua del mar, al paso que con la de Doué, medianamente hidráulica, daba excelentes resultados, sobre todo cuando las proporciones eran las ántes expresadas. Esta misma cal de Doué con puzzolana artificial, no resistia á la accion salina. Por el contrario, con cales artificiales de doble coccion, los resultados fueron in-

feriores á los obtenidos ántes, é inferiores tambien á los de las mismas cales empleando puzzolanas artificiales; deduciéndose, como era de esperar, que no convienen puzzolanas muy enérgicas á cales muy hidráulicas.

Vemos, pues, que el empleo de las puzzolanas no es tan seguro como el de las cales hidráulicas ó cementos, por más que esta cuestion no tenga en España grande importancia, por ser de un empleo casi exclusivo en las obras los cementos y cales hidráulicas de las Provincias Vascongadas.

Tambien se acostumbra á usar mezclas de cal ordinaria con cal hidráulica ó cemento; por punto general estas mezclas son perjudiciales para las primeras, que poseen un exceso de cal libre; pero acaso puedan convenir á algunos cementos, para darles la cal libre que necesitan. Vicat hizo ensayos de diferentes mezclas; y aunque en un principio obtuvo buenos resultados con pequeñas cantidades de cemento, sólo resistieron en definitiva á la accion del mar aquellas mezclas en que entraban 2 de cemento por 1 de cal grasa. Con 3 de cemento la dureza era extraordinaria.

No nos cansaremos de llamar la atencion sobre las tres cualidades que pueden existir en un mortero y que nunca deben confundirse; rapidez en el fraguado, cohesion ó dureza final y densidad; estas tres cualidades influyen de una manera muy distinta en la conservacion del mortero sumergido en el agua del mar. Morteros que fraguan rápidamente, adquieren con frecuencia una cohesion final mucho menor que otros de fraguado lento; y otros que han llegado á resistencias de 25 á 50 kilógramos por centímetro cuadrado, al fin se han deshecho sumergidos en agua del mar, miéntras algunos, áridos, con cohesion de 10 á 15 kilógramos, resistieron perfectamente. Más que la gran dureza debe procurarse una grande afinidad entre todos los elementos. La densidad es favorable á la conservacion, como todo aquello que tiende á disminuir la porosidad; por eso la arena que impide la contraccion es perjudicial bajo este punto de vista, por más que sea favorable para impedir las grietas que se forman con una contraccion excesivamente rápida.

184. Morteros sumergidos despues del fraguado.—Cuanto llevamos dicho se refiere á los hormigones sumergidos en el momento de su fabricacion; pero es evidente que los elementos de destruccion se debilitarán cuando el hormigon se sumerja despues de haberse consolidado al aire libre, hidratándose con la cantidad de agua estrictamente necesaria y carbonatándose la superficie. Por eso muchos sillares sumergidos (en Argel,

por ejemplo) y que se conservaban intactos miéntras permanecian enteros, fueron rápidamente destruidos cuando por cualquier accidente sufrian una fractura. En la fabricacion de sillares, es necesario, á fin de que las reacciones se verifiquen, poner mucho cuidado en mantener la mezcla con una humedad conveniente é impedir la desecacion. Una desecacion rápida, favorece, segun Vicat, el endurecimiento y conservacion en el mar de las gangas puzzolánicas, pero la imbibicion que lleva consigo, determina grietas que sólo se pueden evitar por la introduccion en las mezclas de mucha arena, debilitando su cohesion, que no pasa de 4 á 5 kilógramos por centímetro cuadrado, si la arena excede de 4 por 3 de puzzolana. En construcciones delicadas conviene emplear la ganga pura, haciendo endurecer los hormigones sumergidos en agua dulce, ó por lo ménos, manteniéndolos húmedos.

Como comprobacion de lo que influye el más ligero obstáculo á la penetracion del agua en la conservacion de los morteros, citaremos varios ejemplos. Vicat detenia la cáries de las mezclas sometidas á ensayo, con sólo untar las superficies con una capa de sebo. Gangas que se desagregaban del tercero al octavo dia, se cubrian, encerradas dentro de una tela permeable, de cristales de magnesia y sulfato de cal, adquiriendo una gran dureza. Estos compuestos eran destruidos tan pronto como se los despojaba de su envoltura de tela.

Gangas de la especie anterior empleadas en el puerto de Brest como relleno, conservadas durante veinticinco años en perfecto estado de solidez, se redujeron á fango en pocos meses, cuando por la demolicion de las obras quedaron expuestas á la accion salina. En Saint-Malo y Saint-Servan se echó mano, para las fábricas de relleno, de la cal de Doué, que no resistia á la accion salina, habiéndose conservado en perfecto estado de dureza desde 1848.

185. Condiciones reales en que los morteros se encuentran en las obras.—En lo que precede hemos supuesto una homogeneidad perfecta en la mezcla, que rara vez se realiza en las calizas de donde se extraen las cales hidráulicas; y se comprende que los elementos de destruccion han de crecer rápidamente en fuerza, cuanto más irregular sea en la masa la distribucion de los elementos que constituyen las cales hidráulicas. Por otra parte, es imposible que todos los trozos de la caliza alcancen el mismo grado de calor. Desde luego las partes interiores de los trozos de caliza, es-

rán ménos calcinados que las exteriores, lo cual aumenta más y más la heterogeneidad de la masa. Por eso las cales de doble coccion, ya naturales, ya artificiales, son, bajo este concepto, muy superiores á las naturales de simple coccion, y nunca debieran emplearse las últimas en las obras del mar, si la diferencia de precio no obligase á ello muchas veces. Así resulta de los ensayos de Feburiez, quien no observó descomposicion alguna en las primeras, al paso que eran rápidamente destruidas las segundas.

De cuanto precede resulta: 1.° Que teóricamente no es posible afirmar la estabilidad en el mar de las mezclas hidráulicas. 2.° Que los elementos de la cal hidráulica deben ser variables con la localidad, y acaso en una misma localidad con las diferentes épocas. 3.° Que prácticamente y con tanteos y análisis numerosos de las cales y del agua del mar de la localidad, se podrá llegar á establecer en cada una la composicion más conveniente de la mezcla. 4.° Que la mejor manera de oponerse á la accion destructora de las aguas del mar, es el aumentar por todos los medios (como maceracion prévia, manipulacion, etc.) la densidad de los morteros y disminuir su porosidad ó permeabilidad. 5.° Procurar preservar la superficie del hormigon, ya facilitando la formacion del carbonato calizo, ya recubriéndola con barnices ú otras sustancias que resistan á la accion del agua é impidan la penetracion de esta en el interior, ó más bien su renovacion continuada; ya, por último, procurando cubrirla de conchas ó plantas marinas que produzcan los mismos resultados. 6.° Que las cales en las cuales, como en la de Theil, predomine la sílice, están ménos expuestas á descomposicion, por formar compuestos más definidos y estables que los aluminatos; pero las aluminosas tienen más pastosidad y facilitan la trabazon (Rivot). 7.° Que sólo deben emplearse en las obras marítimas cales eminentemente hidráulicas cuando ménos, y que conviene entren en la categoría de cementos límites. 8.° Que deben proscribirse las cales de una coccion y emplear las artificiales de doble coccion. 9.° Que los buenos cementos no han sufrido hasta hoy descomposicion. 10.° Que sólo con grandes precauciones y ensayos prévios deberá hacerse uso de las puzzolanas.

186. Ensayos.— Vicat propone el siguiente medio de ensayar en el laboratorio las cales, cementos y puzzolanas, señalando como admisibles á las que son susceptibles de resistir durante 20 meses á los ensayos de laboratorio.

Los compuestos hidráulicos los clasifica de la manera siguiente: 1.° Los que resisten á los ensayos de laboratorio. 2.° Los que sin resistir á estos ensayos, resisten sin embargo á la inmersion en el mar, ya por su propia energía, ya con ayuda de un revestimiento natural ó artificial que se forme. 3.° Los que no resisten ni á los ensayos de laboratorio ni á la sumersion en el agua del mar.

Se introducen las pastas, despues de adquirir la suficiente consistencia, dentro de una disolucion de 4 á 5 partes de sulfato de magnesia anhidra, (y 8 á 9 con su agua de cristalizacion), 6 de cloruro de magnesio, y 27 de sal de cocina, en 1.000 partes de agua. Conviene que la masa tenga la forma de un paralelipípedo, ó al ménos que presente aristas tan vivas como sea posible. El volúmen del líquido ha de ser de cinco á seis veces el del trozo sumergido; y se remueva diariamente miéntras el oxalado de amoniaco precipite abundantemente la cal sustraida al trozo que se ensaya; ó cada cuatro ó seis dias si el precipitado es en poca cantidad. Conviene que la temperatura del líquido sea de 40° á 50° centígrados.

Si se formasen depósitos blancos que se adhieren á las paredes ó al trozo que se ensaya, es necesario sacarlo, limpiarlo perfectamente, y si esto no bastase, sumergirlo en una disolucion ácida muy diluida, volviéndolo á sumergir en un nuevo baño.

Si el trozo llega á los 10 meses sin alteracion, deberá aserrarse ó romperse y examinar su contextura interna, ya á la simple vista, ya con el microscopio. Unas veces aparece el trozo con un reblandecimiento interior que se extiende más ó ménos dentro de la masa; otras con soluciones de continuidad aparentes ó no, que la dividen en fragmentos irregulares ó zonas concéntricas.

Si nada de esto sucede, y el interior presenta una contextura uniforme y homogénea, todavía se ensayarán de nuevo los fragmentos, y cuando se mantienen intactos despues de algun tiempo de inmersion, se puede deducir como consecuencia su inalterabilidad. Vicat cree que esta segunda prueba no debe exceder de 10 meses.

De los resultados comparativos entre las observaciones hechas en mar libre y los experimentos de laboratorio, resulta, tomando para los primeros los obtenidos en el fuerte Boyardo, considerado hasta ahora como la localidad en donde los efectos destructores han sido más enérgicos: 1.° Que las señales de descomposicion que aparecen despues de 20 á 140 dias en

los ensayos de laboratorio, sólo aparecian en los sillares del fuerte Boyardo desde el mes 14 al 26. 2.° Otros compuestos que no fueron destruidos tanto allí como en la punta de Grave hasta haber trascurrido doce ó trece años, lo fueron en el laboratorio ántes del mes 20 de inmersion. 3.° Que el trass de Holanda es inferior á la puzzolana de Roma, segun resultó asimismo de los ensayos de laboratorio. 4.° Que los cementos de Guetary, de la Mortagne y otros parecidos, fueron destruidos al cabo de algunos meses en el fuerte Boyardo, resistiendo los de Zumaya y Medina desde hace quince años en las costas de la Mancha y de España.

Segun se ve, estamos léjos de llegar á la certeza en lo que se refiere al empleo de las cales en las construcciones en el mar; pero la necesidad es superior á estos peligros más ó ménos remotos, y los compuestos hidráulicos continúan empleándose en ellas como ántes.

187. Morteros magnesianos. — En vista de los peligros enumerados, Vicat propuso emplear cales de base de magnesia; lo caro de la fabricacion de este producto hace que hasta ahora no se haya aplicado á las obras.

Las cales dolomíticas han dado malos resultados, pero segun Sainte-Claire Deville, depende de la elevada temperatura á que se las ha sometido. Cuando se calcinan á la temperatura de 300° ó 400°, inferior á la necesaria para obtener las cales ordinarias, fraguan rápidamente en el agua, dando orígen á una piedra de dureza tan extraordinaria que raya el mármol. Si se aumenta la temperatura hasta el rojo vivo, el carbonato de cal se descompone y la pasta formada se deshace inmediatamente en el agua. Mr. Michelot ha llegado á los mismos resultados. Los sillares formados de esta manera y expuestos á la accion salina del mar en el puerto de Boulogne han resistido hasta la fecha. La explicacion de la hidraulizacion es sencilla: se forma un hidrato de las sales de magnesia, que envuelve al carbonato de cal sin descomponer, formando un todo compacto.

Un ingeniero inglés, Crace-Calvert, dirige por cuenta de la Sociedad Dinorben, una explotacion de cales magnesianas hidráulicas, observando igualmente la pérdida de la hidraulicidad cuando se eleva mucho la temperatura.

Mr. Sorel propone un cemento magnesiano compuesto de un oxicloruro de magnesio básico é hidratado. Amasando magnesia con una disolucion concentrada de cloruro de magnesio, se obtiene un cemento tanto más

enérgico cuanto más densa sea la disolucion. En la mayor parte de los casos es suficiente que la disolucion marque de 20° á 30° del areómetro de Beaumé. Este cemento posee en el más alto grado la propiedad aglutinante, lo que permite formar masas sólidas á precios poco elevados, aglomerando en grandes proporciones materiales de poco valor. Una parte de magnesia puede aglomerar, de manera que formen cuerpos duros, más de 20 partes de arena caliza, ú otras materias inertes; al paso que la cal sólo puede hacerlo con dos ó tres veces su peso de materias extrañas.

El procedimiento más económico para obtener la magnesia es el debido á Mr. Balard, que la extrae de las aguas madres de las salinas. Tambien se puede obtener de estas mismas aguas madres, formadas en gran parte de cloruro de magnesio, por medio de la cal viva: de aquí resulta una doble descomposicion que produce magnesia y cloruro de calcio; las aguas madres se reducen á 20° del areómetro, y se emplea ménos de un equivalente de cal por uno de cloruro de magnesio, á fin de que toda la cal éntre en combinacion y quede ademas el cloruro de magnesio que se necesita. El líquido que resulte se puede emplear con la magnesia para formar un cemento.

El cemento Scot, no es más que una cal hidráulica órdinaria con un poco de azufre. Se obtiene haciendo pasar los vapores de ácido sulfuroso producidos por la combustion del azufre sobre la cal. Del análisis practicado por Hervé Maugon resulta, que en 100 partes contiene 10 de sílice y 73 de cal; es, pues, una cal hidráulica ordinaria, pero que no se apaga como esta, y adquiere las propiedades del cemento. La misma cal grasa adquiere propiedades hidráulicas, que no son debidas, así en este como en el caso anterior, á la formacion de sulfato, sino á la de un sulfuro. De aquí resulta la necesidad de tener en cuenta, para conocer la bondad de una cal hidráulica, el azufre que en forma de sulfuro pueda contener.

Todos estos procedimientos están en via de ensayo y la cuestion no ha sido resuelta de una manera práctica y económica, sobre todo aplicada á las obras en el mar, por las grandes masas que constituyen los cimientos ó rellenos. Para aquellas que requieren sillares de más ó ménos magnitud, es posible aplicar los procedimientos descritos y empleados en la fabricacion de sillares artificiales, pero tambien respecto de algunos carecemos de datos relativamente á su posibilidad práctica para tan grandes masas; y de los más, respecto del coste. Los procedimientos son de dos clases; ó la base

de los compuestos es la cal, limitándose á darles mayor consistencia, y por lo tanto impidiendo la penetracion de las aguas del mar en el interior de los sillares, ó varian radicalmente en la composicion.

Para impedir la imbibicion (y esto más aún en los morteros que en los mismos sillares), se ha propuesto el empleo de los aceites más baratos, como por ejemplo el aceite de ballena, formando un compuesto análogo al mastic de vidriero.

De todos los sistemas de aglomeracion, el más conocido y el más generalizado en la actualidad es el debido á Mr. Coignet. Todos ellos están fundados en el mismo principio, en dar al mortero ó ganga la menor cantidad de agua posible (la que baste para humedecerlo y aglutinarlo); y luego consolidar la mezcla por la compresion. El procedimiento de fabricacion, así de este como de otros muchos compuestos aglomerados, está descrito en todos los tratados de construccion (*a*).

188. Morteros en que no entra la cal. —En el segundo grupo se comprenden los sistemas de los cuales se excluye la cal como elemento aglutinante y es sustituida generalmente por la sílice. Por las razones ya expuestas [176] no entramos tampoco en el detalle de la fabricacion, y desde luego desechamos todos los que hayan de fabricarse por medio del fuego, como el de Ransome, por ejemplo; pues aunque Mr. Berard afirma que por un procedimiento especial se podrán construir económicamente sillares hasta de 15 metros cúbicos, semejante asercion no está demostrada.

Entre los procedimientos de fabricacion por la via húmeda, figuran principalmente los de Kulman. Este químico, observando que si bien los silicatos de cal ó de magnesia son solubles en una disolucion del cloruro de sodio, no lo son, ó lo son mucho ménos, los silicatos dobles ó triples de cal y magnesia, ó cal, magnesia y alúmina. Hace entrar directamente en la composicion de los morteros las dolomias calcinadas, dándolas las condiciones de consolidacion, por medio de una adicion de silícatos alcalinos. Las sales de magnesia que contiene el agua del mar, contribuyen á la solidificacion, formándose con ellas el silicato de magnesia, y para reforzar esta accion, conviene revestir la construccion de un exceso de silicato. El cloruro potásico no tiene influencia sobre el silicato, pero la sal comun precipita lentamente la sílice, llegando á ser abundantes los copos, cuando la cantidad de sal llega á un 5 por 100. ¿Es arrastrada la

(*a*) Véanse los apéndices.

sílice, ó se precipita tomando cohesion, como sucede en otros casos? Nada indica Kulman respecto de este punto.

La presencia de un exceso de cal y de un poco de arcilla en las dolomias, parece favorable á la consolidacion; conviene para los buenos resultados dejar hidratarse la dolomia calcinada ántes de mezclar el silicato alcalino.

Kulman, para obtener un buen cemento hidráulico, propone como resultado de sus experimentos, el empleo de la cal grasa asociada á la arcilla y á los silicatos alcalinos; las proporciones de los diferentes elementos son; 30 de cal grasa, 50 de arena, 15 de arcilla no calcinada, y 5 de silicato de potasa ó sosa. Tambien aconseja el empleo de los silicatos en polvo, y de esta manera, aunque la accion es más lenta, el endurecimiento final es mayor y más fácil el trabajo.

El procedimiento de Kulman para formar piedras artificiales es bien conocido de todos los ingenieros; pero su aplicacion, que exige sean calizas las piedras ó materias aglutinadas con la cal, se aplica más bien á la conservacion ó preservacion de las piedras naturales que á la fabricacion de las artificiales. Ransome modifica el procedimiento de Kulman aplicándolo á toda clase de piedras. Se reduce su método á provocar artificialmente una reaccion sumergiendo los materiales aglutinados en una disolucion de cloruro de calcio; en cuanto á la manera de proceder en uno y otro caso, se describirá cuando nos ocupemos de la preservacion de las piedras por medio de enlucidos.

El hormigon de pez se obtiene aglutinando la piedra menuda ó arena con los resíduos de la brea de hulla *(coaltar)*; su densidad puede bajar hasta 1,80; entónces es un poco débil, pero se remedia este inconveniente con la eleccion de los materiales, lo cual le hace muy superior al hormigon ordinario.

Los ensayos de este procedimiento, hechos en el puerto de Oran, han sido satisfactorios; su precio no llega á 25 pesetas el metro cúbico. La pez cuesta ordinariamente en el comercio de cuatro á cinco pesetas los 100 kilógramos. Se han obtenido los mejores resultados con una mezcla de una cuarta parte en peso de brea y del óxido de hierro que resulta de la combustion de las piritas; el producto adquiere una sonoridad y dureza sorprendentes.

El hormigon de asfalto se compone de 5 kilógramos de betun puro que

se derrite en una caldera y al cual se añaden 95 kilógramos de mastic asfáltico, en ocho ó diez pedazos. A esta mezcla se le agregan, despues de líquida, 150 kilógramos de piedra machacada, y se revuelven fuertemente para impregnarlas de las materias en fusion. Este producto es caro, y se emplea ordinariamente para revestir los sillares, dando á la envolvente un espesor de un decímetro para un sillar de 9 metros cúbicos.

189. Revestimientos y enlucidos.—Este procedimiento y los que siguen serian muy caros si se destinasen á formar el interior de la masa, pero generalmente no se emplean así; basta, para la preservacion de los materiales, formar el revestimiento con las materias preservativas, y el relleno en la forma ordinaria. Vamos á pasar revista á los diferentes procedimientos empleados.

Ya sabemos [182] que la renovacion constante del agua del mar, es la que produce su descomposicion; si se consigue impedir aquella, los materiales quedan intactos: los hechos que hemos citado demuestran plenamente esta verdad. No hay, por lo tanto, necesidad de emplear en las fábricas interiores ó de relleno, cales de excelentes condiciones, pero caras, siendo suficientes que las tengan medianas, y hasta se ha echado mano de las malas, sin que hayan sobrevenido accidentes. Cuando á una fábrica de hormigon se la recubre de ladrillo ó de sillares inatacables por el agua del mar, su duracion por este concepto será indefinida.

Si una débil película impide la penetracion de las sales marinas en el interior del sillar, es evidente que todos los cuerpos grasos ó preparaciones de aceite contribuirán á este objeto. Como prueba, citaremos un fenómeno curioso en la capilla de Santa Eugenia de Biarritz, expuesta á las emanaciones salinas del mar. La piedra arenisca de su fachada está profundamente carcomida, pero han quedado en relieve los números ó marcas al óleo que sirvieron para la colocacion de los sillares. Entre los compuestos hidrófugos que mejor han probado, figura en primer término el aceite de Daine, ensayado en el edificio del Parlamento inglés. Se compone de una parte en peso de azufre, disuelto en ocho de aceite de linaza á la temperatura de 110° á 140° centígrados.

La cola marina es un compuesto bituminoso formado con aceite de brea, pez y blanco de zinc. La negra cuesta 0,50 pesetas el kilógramo; y en la blanca sube el precio á 11 pesetas. Con un kilógramo se dan dos capas á un metro superficial.

El betun de Judea artificial se compone de la siguiente manera:

Betun de Judea natural	25
Betun de Bastemmes	20
Asfalto de Seyssel	25
Cera vírgen	1
Coke en polvo impalpable	29
	100

Otro cemento que ha dado excelentes resultados, consiste en disolver el caoutchouc en 2 partes de esencia de trementina, agregando á la disolucion 4 de sulfato de barita pulverizado. Se comprende que esta sustancia puede ser sustituida por otra más barata, con tal que el agua del mar no ejerza su accion sobre ella. Tambien puede aumentarse ó reducirse la cantidad, segun se quiera hacer más ó ménos espeso el cemento.

Son infinitas las recetas que se han dado de cementos ó barnices hidrófugos; no pretendemos darlos á conocer todos, pero en esta materia conviene tenga el Ingeniero abundancia de medios para elegir el más á propósito y económico, con arreglo á los recursos de la localidad, y hasta para que pueda formar otros nuevos. Los que aquí damos, son aquellos cuya eficacia está probada por una prolongada experiencia.

El enlucido hidrófugo de Thenard y D'Arcet, se compone de una parte de cera, derretida en 3 de aceite de linaza, con $^1/_{10}$ de litargirio. Para fabricarlo más barato, se sustituye la cera por la resina derretida á un calor suave. Entónces se mezclan dos ó tres partes de esta sustancia con una de aceite de linaza y $^1/_{10}$ de litargirio. Si se teme la accion del hidrógeno sulfurado sobre el litargirio, se le sustituye, en este y otros casos, con zumático (secante de base de zinc y manganeso). Para aplicarlo, es necesario calentar fuertemente la superficie, aplicando encima con brochas el enlucido, derretido á la temperatura de 100°. Se aplican diferentes capas despues de secas las anteriores, hasta que la piedra no absorba más. El metro cuadrado absorbe como máximo 0,60 kilógramos.

La parafina es otra sustancia eminentemente hidrófuga: se aplica de dos maneras; en frio, sobre superficies casi secas, disolviéndola en un hitrocarburo, ó en caliente. Para aplicarla en frio, es necesario mantener la disolucion á una temperatura de 40° á 50°, para impedir que se coagule.

La absorcion es tan rápida, que la impermeabilidad es inmediata. La parafina penetra ordinariamente de cuatro á cinco milímetros, y se requiere 0,20 kilógramos de ella por metro cuadrado de superficie enlucida.

La parafina se aplica tambien en caliente; se mantiene la parafina pura en fusion y se extiende con una brocha de impresion; la parafina se coagula instantáneamente; entónces por medio de un chorro de hidrógeno se calienta por zonas la superficie que absorbe la parafina. La precios varian de una á dos pesetas por metro cuando se aplica en frio, y de dos á tres en caliente.

Recapitularemos aquí algunos otros enlucidos que han probado perfectamente; pero más bien que fabricarlos, convendrá adquirirlos ya fabricados.

1.° *De Fulgens.*—Se aplica en frio y con brocha; basta con una capa, pero para mayor precaucion conviene dar dos. A los dos dias de aplicado adquiere una gran dureza y elasticidad. Cuesta 4 pesetas el kilógramo y una peseta el metro cuadrado de enlucido. Si se espesase en el frasco, se le vuelve la fluidez agregando por cada kilógramo, 25 gramos de litargirio ó zumático, desleido en 25 gramos de esencia de trementina.

2.° *Cemento antinitroso y cemento porçelana de Candelot.*—Se aplica con brocha y necesita tres capas y cuatro en sitios húmedos. No se extiende una capa hasta que la anterior no pega á los dedos. El precio varia para el de calidad superior, entre 2,00 y 2,40 pesetas el kilógramo; y 1,60 y 2,00 para el de calidad inferior. El metro superficial varia en el primer caso entre 1,50 y 1,80, y en el segundo entre 1,20 y 1,50.

Tambien este mismo fabricante vende *pasta de alabastro*, que se deslie en un poco de aceite de linaza y esencia de trementina; se extiende en dos capas con la llana ó paleta. Cuesta 0,75 pesetas el kilógramo, y se invierte un kilógramo por metro cuadrado. La tarifa de esta especie de enlucido es de una peseta por metro cuadrado.

3.° *Cemento Ruoltz.*—Entran en su composicion óxidos metálicos (de zinc, hierro, manganeso), metales, sílice y alúmina, etc. Es una de las sustancias más hidrófugas, y se extiende con la llana ó paleta, desliéndolo en el momento de emplearlo, en 50 gramos de aceite esencial de trementina y 50 de aceite de linaza, dando ántes una mano de pintura del mismo fabricante. Las dos capas deberán ser lo más delgadas posible, próximamente es de un milímetro de grueso, y se gastan 0,70 kilógramos por

metro cuadrado. El enlucido adquiere despues de algunos dias una gran dureza, que va aumentando á medida que el tiempo trascurre. El precio es de una peseta el kilógramo.

Pasaremos ahora á ocuparnos del procedimiento de silicatizacion de Kulman, acerca del cual ya indicamos algo [188] al tratar de la formacion de sillares artificiales. Observando Kulman la grande afinidad de la cal por la sílice en estado naciente de su combinacion con la potasa, trató, despues de diferentes ensayos, de utilizar esta propiedad en el endurecimiento de las piedras. Si se expone al aire libre una disolucion de silicato soluble de potasa, abandona lentamente la sílice para formarse un carbonato de potasa, adquiriendo la piedra una dureza tal que puede rayar el vidrio. Por esto se observa que el endurecimiento es mucho mayor al aire libre que encerrada la masa en un frasco.

Si se aplica el silicato á una piedra caliza, ¿qué reacciones se verifican? Una parte del carbonato se descompone, formándose silicato de cal y carbonato de potasa, precipitándose ademas la sílice en la forma que dejamos dicho. El carbonato de potasa produce exteriormente una ligera exudacion, que disminuye poco á poco, para desaparecer del todo sin haber alterado en nada la superficie. Sin embargo, para evitarlo, aumentando al mismo tiempo la dureza de la piedra, se convierte una parte de ella en mica por el empleo del fluoruro de silicio, ó en feldespato por medio del aluminato de potasa. Por cualquiera de los dos procedimientos se consigue fijar la potasa de una manera insoluble.

El silicato de potasa se fabrica de dos modos: por la via seca, ó por la via húmeda; por la primera se calcinan hasta el rojo 10 partes de carbonato de potasa con 15 de arena silícea pura y 4 de carbon. La masa despues de una viva efervescencia entra en fusion, se la moldea en placas delgadas y se conserva así, ó disuelta en agua despues de filtrar la disolucion.

En Inglaterra se preparan por la via húmeda grandes masas de silicato de potasa. Se calcinan préviamente hasta el rojo, guijarros silíceos, y se los arroja en agua fria para pulverizarlos; luego, se los somete bajo una presion de siete á ocho atmósferas, á la accion de una disolucion de potas cáustica.

Para aplicar el silicato se emplea la disolucion que marca 35° del areómetro de Beaumé, y se diluye en doble volúmen de agua. Se limpia bien

y se lava la superficie que se intenta preservar, y se aplica el líquido con brochas suaves hasta que no absorba más. La experiencia enseña que tres manos, dadas en tres dias consecutivos, bastan para endurecer la piedra. El gasto no excede de 0,75 pesetas por metro superficial.

Cuando la piedra no es caliza, basta la accion del ácido carbónico del aire para precipitar la sílice; pero esta accion es muy lenta y conviene proceder de otra manera más expedita. Es cierto que en los sillares artificiales de hormigon, cualquiera que sea la naturaleza de la piedra aglomerada, entra una gran parte de cal, y el procedimiento de Kulman es entónces aplicable. En cuanto á la inmersion inmediata, no es temible; ya hemos visto [188] que las reacciones son favorables al endurecimiento.

El procedimiento de Ransome es más general y aplicable á toda clase de piedras, ofreciendo ademas la ventaja de realizar las reacciones en corto tiempo; hé aquí las precauciones que conviene adoptar para el buen éxito de la operacion. El principio en que se funda es el mismo de Kulman, y consiste en verificar una doble descomposicion del silicato potásico por medio del cloruro de calcio, ó descomponiéndole con una lechada de cal ó de barita. Principia aplicando á la piedra que intenta preservar, diferentes capas de una disolucion ó lechada de cal ó de barita. La solucion barítica que ha parecido merecer la preferencia, se prepara con 500 gramos de hidrato de barita en 10 litros de agua, y se aplica ya con brocha, ya (á ser posible) sumergiendo la piedra en la disolucion. Preparada así la piedra, se procede á la aplicacion del silicato soluble, ó de una mezcla de silicatos, (por ejemplo, de potasa y sosa). La solucion debe ser lo más neutra posible, y se la puede hacer tal ya añadiéndola sílice en gelatina, ya empleando la diálisis para eliminar el exceso de álcali. Debe ademas tener una densidad de 1,20; pero se podrá variar este tipo, segun la naturaleza más ó ménos porosa de los materiales, y segun la profundidad á que se quiera hacer penetrar el endurecimiento. Esta observacion es igualmente aplicable á la disolucion de barita. Cuando se emplea la cal, conviene añadir melaza al líquido para aumentar la cantidad de cal en suspension.

Ransome propone tambien sustituir la sílice por el ácido fosfórico; emplea, en vez del vidrio soluble, una disolucion de fosfato ácido de cal de 1,06 de densidad. Esta disolucion se dá indiferentemente ántes ó des-

pues que la de barita. El procedimiento es sumamente económico y la dureza que comunica á la piedra es una garantía más de duracion.

Hemos dicho [188] que el empleo del hormigon de asfalto, formando la masa de los sillares, era antieconómico, y que bastaba recubrirlos con una envolvente de un decímetro de espesor. Para ello se principia por arreglar una capa de mampuestos con los tizones hácia arriba, sobre los cuales se extiende una de hormigon asfáltico de un decímetro de grueso. Despues de frio este, se fabrica el sillar con mampostería ú hormigon ordinario, cuidando de dejar en cada cara un vacío de un decímetro, que será á su vez recubierto por el hormigon de asfalto.

De cuanto precede se deduce: que si bien el problema del empleo de los morteros en el mar no está resuelto para los hormigones sumergidos en masa recien fabricados, y expuestos sin defensa exterior á los embates del mar, son admisibles las variadas soluciones propuestas y ensayadas, cuando los hormigones se usan en forma de sillares ó en el interior de los macizos. Cada Ingeniero, segun las circunstancias, podrá aplicar cualquiera de los procedimientos descritos ó inventar otros análogos, aprovechando los recursos de la localidad.

190. Maderas atacadas por la broma.—La madera se conserva mejor sumergida constantemente en el agua, que expuesta al aire libre. Sin embargo, sometida á las alternativas de sequedad y humedad, como sucede para la parte sujeta á la influencia de la marea, su destruccion es rápida. Las sales disueltas en el agua del mar no tienen influencia sobre la madera, pero hay un molusco conocido en nuestras costas con el nombre vulgar de *broma*, que causa terribles estragos en las maderas sumergidas.

La *limnoria terebrans* hace grandes destrozos en el mar de Alemania; en Bell-Rock destruia un pino de Memel á razon de 26 milímetros por año. Y por último, en Kingstown tambien se ha desarrollado la *chelura terebrans*. La limnoria es un crustáceo del tamaño de un alfiler, taladrando las capas superficiales de la madera y llenándola de una infinidad de agujeros, separados por tabiques casi imperceptibles.

Los pholados atacan la madera lo mismo que la piedra, pero los anteriores son los más temibles.

El teredo y la limnoria son más destructores entre el fondo y la bajamar, á partir de la cual disminuye su accion hasta la plea; sin embargo, en Liverpool, la madera alternativamente cubierta y descubierta

por las aguas, fué destruida más rápidamente que la sumergida constantemente.

Las partes inferiores al terreno, que por estar clavadas ó enterradas no presentan su superficie al descubierto, se conservan intactas. A veces suelen desarrollarse en un sitio determinado de una localidad, al paso que en otros de la misma muy poco; habiendo destruido por completo el dique del Oeste en Dunkerke, y apénas el del Este.

Hé aquí diferentes ejemplos de la accion destructora de estos animales. En Dunkerke las maderas son destruidas en ménos de quince años; en Lorient, en tres; las estacadas de la punta de Hoc, en el Havre, fueron devoradas en seis meses. La mitad en peso del casco de un navío de línea ido á pique en 1806 en la rada de la isla de Aix, fué devorado en el mismo tiempo.

Aunque el teredo y la limnoria son igualmente destructores, nos extenderemos más sobre el primero, porque el otro no es conocido en nuestras costas, y porque los preservativos empleados contra el uno, producen igual efecto contra el otro.

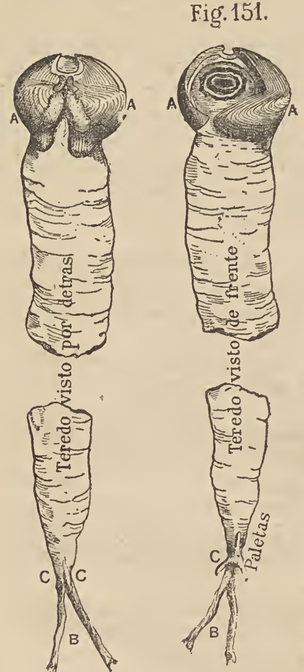
191. Descripcion del teredo.—Se pretende que la broma ha sido importada en Europa por navíos holandeses que hacian el comercio con las Indias Orientales; pero los recientes descubrimientos hacen ver que este molusco existe en Europa desde tiempo inmemorial y hasta en maderas fósiles del terreno terciario.

Quatrefages describe ocho especies, tres de las cuales son oriundas de Europa. El teredo de Deshaiges *(teredo fatalis)*, en los puertos de Pasajes y San Sebastian; el *teredo navalis*, en la rada de Argel y algunos puertos de la Vendée; y el *teredo bipennata* en los mares de Europa, sin designar ningun punto especial.

El teredo es un molusco acéfalo, de la misma clase que las ostras, almejas, etc.; pero con las cuales no tiene ningun parecido. Su forma es la de un gusano blanco parduzco (fig. 151), (y así se lo denomina) que alcanza hasta 30 centímetros de longitud y 2 de diámetro, terminando por un lado en una concha *A* compuesta de dos valvas; y por el otro en una cola *B* bifurcada, formando dos sifones que puede acortar ó alargar á voluntad, y que en su estado natural están encerrados entre dos paletas calcáreas *C*. Uno de los sifones le sirve para buscar en la abertura, á veces microscópica, por la cual ha penetrado, el agua aereada y las sustancias orgáni-

cas necesarías para la nutricion, y por la otra echa fuera estas aguas y los resíduos de la digestion.

Fig. 151.





Las larvas principian á penetrar en la madera hácia fines de Junio, y en nuestros climas consiguen establecerse definitivamente en ella, en fin de Agosto ó principios de Setiembre.

Los naturalistas no están de acuerdo en la manera de perforar el teredo la madera: unos suponen que segrega cierta sustancia corrosiva que la ataca; otros atribuyen este efecto al pié carnoso *D* del animal; otros al capuchon cefálico; y por último, la opinion más general y más fundada es el considerar la concha como un instrumento perforador. Caillaut fijó con goma laca una concha de teredo á la extremidad de una varilla, y consiguió, haciéndola girar entre el pulgar y el índice, abrir en cuatro horas y media un agujero de tres centímetros de profundidad. Hasting deduce lo mismo del exámen microscópico de la concha y del aparato

muscular del teredo. En efecto, los bordes de esta concha, dentados y formados de una sustancia más dura que el resto de ella, presentan á la vez reunidas en un solo instrumento, una lima y una gubia ó taladro de cuchara. Sus efectos son más parecidos á los de una escofina que á los de un barreno ó berbiquí, y el ruido que se siente cuando se observa la manera de trabajar, confirma estas inducciones. Kater declara haber visto trabajar al teredo con la concha en la forma que dejamos descrita, poniendo al descubierto una porcion del molusco.

Nunca un teredo penetra en la galería de otro, por más carcomida que esté la madera, y siempre queda una película delgadísima entre dos contiguas. Necesita para vivir, agua del mar y madera simultáneamente. El agua ha de ser clara y tener un cierto grado de salazon, lo cual explica por qué [190] en unos puntos del mismo puerto, la madera es atacada y en otros no.

Fig 152.

Un enemigo terrible del teredo es un anélido designado bajo el nombre de *lycoris fucata* (fig. 152), que lo devora sin causar el menor daño á la madera, y en vez de destruirlo, convendria, por el contrario, proteger y favorecer su desarrollo.

192. INFLUENCIA DE LA CLASE DE MADERA.—Antes de ocuparnos de los preservativos ensayados ó propuestos, debemos investigar si la clase de madera influye en su mayor ó menor facilidad para la conservacion. Nada diremos de las maderas europeas, ninguna de las cuales ha resistido: ¿han sido más afortunadas las exóticas? Stevenson pretende que sí. En los ensayos realizados por este Ingeniero en el faro de Bell Rock, el *green-heart*, *beef-wood* (encina de Africa) y el *bullet-tree*, fueron apénas atacados. El teke, si bien resistió en un principio, al fin era atacado y destruido. En Holanda se ensayaron, aunque con mal éxito, el *green-heart* de Surinan, el *bullet-tree*, el guayaco, las encinas americanas y la madera tan dura del *mambarklat*, lo que prueba que no debemos confiar tampoco como preservativo, en la naturaleza de la madera ni en su dureza. Por otra parte, de nada serviria fuesen inatacables las maderas exóticas, cuyo elevado precio

las excluye de las construcciones marítimas, en donde la madera entra por cantidades considerables.

193. Preservativos.—Pasemos ahora al estudio de los preservativos y de su mayor ó menor eficacia. Tambien depende esta de las condiciones en que las maderas se encuentren: si han de ser visitadas y limpiadas con frecuencia, bastan ligeros preservativos, y á veces hasta ninguno. Las maderas colocadas en la punta de Devin para ser ensayadas, se limpiaron repetidas veces, despojándolas de los diversos parásitos á cuyo abrigo se desarrollaba el teredo, y se obtuvo así la perfecta conservacion de aquellas maderas, á pesar de contener ménos creosota que otras destruidas en las Sables-d'Olonne. Estas limpias periódicas, tienen por objeto destruir las larvas de la broma, y ademas desprender las plantas, conchas y demas cuerpos extraños adheridos á la madera y á cuyo amparo se desarrolla la broma hasta adquirir fuerzas suficientes para atacarla. Otro tanto sucede cuando las maderas preparadas están en contacto con otras sin preparar.

Los preservativos pueden clasificarse de la manera siguiente: 1.° Revestimientos metálicos. 2.° Barnices. 3.° Inyecciones; de las cuales formaremos un cuarto grupo con la creosota.

194. Revestimientos metálicos.—Los preservativos más acreditados por la experiencia, son los revestimientos metálicos; ya forrando las maderas con hojas de cobre, zinc y hierro, y especialmente el claveteado, sistema empleado desde hace mucho tiempo por los holandeses. Se clavan en contacto clavos de dos ó tres centímetros de cabeza; el agua forma pronto una capa general de óxido que cubre los espacios libres entre los clavos. En los mares de Holanda, el fango desleido en el agua del mar, se combina con el óxido, y se forma, al cabo de algunos años, una costra de algunos milímetros de grueso, en la cual desaparecen las cabezas de los clavos. En los ángulos entrantes es necesario emplear, para obtener un contacto más íntimo, clavos de distintas dimensiones. A pesar de todas estas precauciones, suele penetrar á veces el teredo al traves de esta capa, y entónces es imposible evitar la destruccion. En las pruebas hechas en Holanda, se encontraron devorados interiormente algunos pilotes recubiertos por una capa de orin de un centímetro de grueso. Los forros metálicos son eficaces miéntras se conservan intactos, pero la experiencia demuestra no ser esto posible; al fin penetra el teredo en el interior y la madera es devorada.

195. Barnices.—Los ensayos más completos son los practicados en Holanda en los puertos de Flesinga, Harluigen, Niewendams y Niewe-Diep, desde 1859 á 1865. Para que los barnices agarrasen bien, se tomaba la precaucion de raspar y estriar la superficie de la madera ántes de proceder á su aplicacion. Hé aquí los barnices ensayados sin resultado, ademas de la carbonizacion de la madera. 1.° De Brinkerink, parecido al de Van-Riswijk. Consiste en una mezcla de talco de Rusia y vidrio pulverizado con brea, resina y azufre aplicado en caliente. 2.° Barniz de parafina. 3.° Brea de hulla, en frio y en caliente, sobre la madera carbonizada. 4.° Barniz de Claussen (secreto). 5.° Pinturas, con trementina ó aceite de linaza; y entre otras el verde de cromo y el cardenillo.

De todos estos, únicamente la brea resistió en un principio, pero al fin los pilotes de ensayo fueron atacados y destruidos por la broma. En las boyas de madera de las Baleares, se aplicó este preservativo (la brea rubia) con buen éxito; debido probablemente al cuidado y esmero que con ella, se tiene. Por lo demas, se comprende la ineficacia de estos preservativos, pues basta el más ligero choque ó roce, para abrir paso al traves de la capa y facilitar la entrada al teredo.

196. Inyecciones de sales minerales.—Las sales metálicas ensayadas, fueron el sublimado corrosivo, el sulfato de cobre, el de hierro (vitriolo verde), y el acetato de plomo. El sulfato de cobre fué el más generalizado; M. Noyon lo empleó en Lorient en 1855 y 1856, inyectado hasta la saturacion, absorbiendo 7 ½ kilógramos por metro cúbico. Las piezas sometidas á la prueba fueron devoradas en once meses. M. Daguenet lo ensayó en Socoa, de 1859 á 1861; y por último, lo fué igualmente por la comision holandesa ántes citada. En los puertos de la Vendée, se usó ya puro, ya mezclado con una sustancia inventada por M. Lecoy (secreto), sin conseguir preservar las maderas; sucediendo lo mismo con las preparadas por otro procedimiento, tambien desconocido, debido á M. Musseau. En Bélgica tampoco quedó preservada la madera.

Del exámen de las piezas atacadas resultó, como era fácil prever, que al cabo de cierto tiempo perdian por completo las sustancias inyectadas, que eran disueltas y arrastradas por el agua del mar.

Otro tanto ha sucedido, y por la misma causa, con las demas sales. David Stevenson ensayó contra la limnoria el sublimado corrosivo; las maderas inyectadas fueron atacadas á los dos años y cuatro meses, y de-

voradas por completo á los cuatro años y siete meses. Con el sulfato ferroso, lo fueron á los diez meses, y destruidas en ménos de dos años. Tambien se han empleado en Holanda las mismas sales y el acetato de plomo.

Iguales resultados negativos que las sales metálicas, dieron las inyecciones de aceite de brea y de parafina, y por eso las colocamos en este grupo.

197 Inyecciones de creosota. —Los ensayos más completos y seguros, se refieren á las inyecciones de creosota, y por eso vamos á ocuparnos de ellos con más extension; las maderas ensayadas fueron principalmente el pino y la encina, pero tambien se ensayaron otras maderas ménos comunes, el haya en Bélgica y en Holanda; y el álamo en Holanda y en Francia.

Principiemos dando cuenta de los resultados negativos. Thomas Stevenson refiere los siguientes ensayos contra la limnoria. En 1850, en el dique de Leith, el ingeniero Rendel hizo uso de madera creosotada con todo esmero. En esta ria, las aguas de la marea están mezcladas con las del rio, y á pesar de todo, el dique fué atacado en grande escala. Otro ensayo se hizo en 1858 en el puerto de Yvergordon en el estrecho del Cromarty, en donde no se creia existiesen en abundancia. La madera destinada á dos pequeños muelles para lanchas, fué inyectada con 162 kilógramos por metro cúbico, despues de trabajada y hechos los cortes para las uniones. La creosota penetró de 0,45 á 0,60 metros por cada extremidad y 5 centímetros lateralmente, y en 1862 ya la parte ennegrecida por el la creosota habia sido devorada en 4 centímetros. Otro tanto sucedió con el pino de Holanda de primera calidad, ensayado por Stevenson en Scrabster, Granton y Stran-Vaer.

El ingeniero Daguenet, sumergió en Junio de 1859, en el puerto de Socoa, infestado por los teredos, una traviesa de ferro-carril, que en Ábril de 1861 se encontraba ya muy deteriorada.

Los resultados de los experimentos citados, parecen indicar que tampoco la creosota es eficaz contra los ataques del teredo; pero falta demostrar que la cantidad inyectada era suficiente para poder preservar la madera, ó qué esta no tenia esta algun defecto por donde le fuera fácil al molusco penetrar. Con este objeto se recogieron los resultados de las observaciones hechas en varios puertos de Inglaterra, y se organizaron experimentos en Bélgica, Holanda y Francia, cuyos resultados vamos á dar á conocer.

Hé aquí reunidos en un cuadro los resultados obtenidos en Inglaterra:

PUERTOS.	CREOSOTA en kilógramos.	NÚM. de años.	ESTADO.	OBRA.
Sunderland...	»	20	Perfecto.	Puertas de los doks de Marckwearmouth.
Teignmouth..	»	7		....
Lowestoft....	»	13	Atacados 6 pilotes.	Estacadas de los diques, (1.600 pilotes.)
Leith........	160	14	Perfecto.	1.013 pilotes.
	112	12		Vigas del piso sumergible.
	96	8	Atacado.	Entablonado del piso.
Southampton.	»	4	Perfecto.	Maderos de ensayo fijos al pilotaje.
Brigthon.. ..	»	3		Pilotes del dique.
Mill-bay.....	»	1		Balsa sumergida.
Manchester...	»	11		100 pilotes para un dique.
Plymouth....	»	4		Pilotaje.
Portland.....	»	8		Rompeolas.
Holyhead....	»	7		Muelle de los paquebots.
	Sin inyectar.			Rompeolas.

Llamamos la atencion sobre la madera de los diques del puerto de Leith, que en el cuadro aparece como en perfecto estado de conservacion, y que Stevenson da como destruida en dos años. La obra, á juzgar por la fecha, parece ser la misma: la del estado que insertamos pertenece al gran dique principiado en 1848 y terminado en 1854. Stevenson se refiere á un dique construido en 1850.

Los ensayos practicados en Bélgica, debidos á Mr. Crepin, tuvieron por objeto averiguar: 1.° La influencia de los agentes atmosféricos y del agua del mar sobre la madera, á partir del nivel medio que el teredo no pasa. 2.° Accion del teredo debajo de este nivel medio. Para ello sumergieron en el puerto de Ostende maderas de pino cargadas de 115, 200 y 261 kilógramos de creosota, y otras de pino y haya sin preparar. Los ensayos duraron desde Octubre de 1857 hasta Diciembre de 1860, encontrándose devorados por la broma los trozos sin preparar.

Las maderas inyectadas, cuyas extremidades se habian cortado para reconocer el interior, y que al sumergirlas de nuevo no se tomó la precaucion de clavetearlas, presentaban huellas de la broma que se habia introducido en las partes ménos creosotadas de la madera. Tambien en la parte plana del trozo de madera perteneciente á un tronco aserrado en

dos y desprovisto de albura, ménos penetrada de creosota que el resto, se observaron indicios de pequeños teredos; estos teredos se habian desarrollado á favor de las conchas ó balanites adheridos á la madera.

Los ensayos continuaron desde Junio de 1861 á Setiembre de 1867, sobre 15 trozos de madera inyectados de creosota hasta la saturacion, habiendo absorbido cada metro cúbico por término medio 440 kilógramos, continuando asimismo las observaciones sobre los trozos sumergidos en 1857.

Las maderas ensayadas en Holanda fueron principalmente la encina, el pino blanco y el rojo; aunque tambien se ensayaron maderas de haya y de álamo, creosotadas por el fabricante inglés Boulton. La encina fué á veces ligeramente corroida, pero las piezas, habiéndolas aserrado, se encontraron imperfectamente inyectadas. En algunos pilotes se quitaba en cada prueba una capa superficial de algunos milímetros de grueso.

De aquí se deduce; que exceptuando los ligeros deterioros observados en algunas piezas de encina mal creosotadas, todas las demas han resultado preservadas por completo de la accion de la broma, al paso que las maderas no preparadas quedaban al poco tiempo enteramente devoradas.

En la Vendée se hicieron tambien experimentos con maderas creosotadas en Bélgica, ensayadas comparativamente con otras inyectadas en Francia de diferentes maneras. Se ensayaron traviesas preparadas por la Sociedad del ferro-carril del Mediodía, otras del comercio belga, tambien para ferro-carriles; y por último, inyectadas por administracion hasta la saturacion.

En el puerto de las Sables d'Olonne y en la punta de Devin (isla de Noirmoutier) se sumergieron 19 piezas de pino. Todas ellas se colocaron apoyadas horizontalmente contra los pilotes, en los cuales se habia constatado previamente la existencia de la broma.

La cantidad de creosota contenida en las maderas del comercio belga por metro cúbico, varió desde 192 á 374 kilógramos, ó por término medio 280; miéntras que en las creosotadas por el Gobierno, variaba entre 269 y 430.

Se visitaron con frecuencia las maderas depositadas en 1862, pero aquí mencionaremos sólo el resultado final, esto es, el estado en que se encontraban en fin de los años 1867 y 1868.

Las traviesas procedentes del ferro-carril del Mediodía, no fueron pre-

servadas; algunas de las sumergidas en la punta Devin lo fueron en un principio, debido únicamente al esmero con que se limpiaban diariamente los pilotes.

Respecto de las maderas belgas, tanto las inyectadas por el comercio, como directamente por el Gobierno, se encontraron á los dos años y medio en perfecto estado de conservacion; pero á los cinco años de inmersion, el estado de las maderas era el siguiente. El teredo habia penetrado en algunas por la parte plana de la madera, imperfectamente creosotada, y devorado el interior, pero deteniéndose en las partes próximas á la albura, que se conservaron intactas. En todas ellas la cantidad de creosota no llegaba á 300 kilógramos por metro cúbico. En las que contenian de 240 á 280 kilógramos, el número de teredos no pasaba de cinco, y en algunas sólo uno; y despues de siete años de inmersion, continuaban en perfecto estado, miéntras que las maderas sin preparar son devoradas en aquel puerto al cabo de un año.

Cuando la cantidad absorbida excedia de 300 kilos, las maderas no eran atacadas; una que habia absorbido hasta 374 kilógramos, aparecia atacada por 16 teredos, que fueron detenidos en su marcha ascensional, y muertos despues de perforar la madera en una longitud de 30 centímetros. En otra, con 240 kilógramos, penetró un teredo por un punto en que la madera estaba poco impregnada de creosota, pero murió sin poder llegar al interior.

Se repitieron estos experimentos con maderas preparadas en talleres establecidos ex-profeso en el puerto de las Sables d'Olonne, y los resultados fueron los que vamos á consignar.

Las maderas puestas en obra se conservaban en el año de 1868 en perfecto estado, y las de los ensayos no fueron atacadas las piezas que contenian 192 á 544 kilógramos de creosota por metro cúbico. 2.° Lo fueron aquellas en las cuales la cantidad de creosota variaba desde 37 á 107 kilógramos; y tambien otras con 125 á 357 kilógramos, pero aserradas en trozos despues de la inyeccion. Las maderas sin preparar eran devoradas en ménos de un año.

De todo lo expuesto resulta: que la creosota es eficaz contra la broma cuando se inyecta en cantidad suficiente, que podemos fijar en 300 kilógramos por metro cúbico, y con seguridad, cuando las maderas son inyectadas hasta su saturacion completa.

198. Propiedades de la creosota.—La creosota del comercio no es otra cosa que el producto oleaginoso obtenido por la destilacion seca de la hulla para el gas del alumbrado, entre 160° y 260°, separando, así los principios volátiles á temperaturas inferiores, como los fijos que se emplean para el asfalto; su composicion es muy compleja, y entre las diversas sustancias que contiene, predominan la creosota propiamente dicha, el ácido fénico y la naftalina; su color amarillo verdoso es tanto más amarillo cuanto más elevada es la temperatura á que se haya obtenido. Expuesta al aire, se espesa y se oscurece hasta tomar un color pardo.

La creosota tiene una densidad variable de 1,00 á 1,07; es combustible, tiene un olor de los más penetrantes, se disuelve en el alcohol, éter, nafta, etc., y ella disuelve á su vez muchas sustancias, entre otras las resinas.

La propiedad de conservar las maderas debe atribuirse: 1.° A su insolubilidad en el agua. 2.° A sus propiedades antisépticas, siendo el ácido fénico una de las sustancias más enérgicas y que entran por un 14 por 100 en las buenas creosotas. El Gobierno belga no admite ninguna con ménos de un 5 por 100. 3.° Se opone á la introduccion de la humedad en los poros de la madera y detiene el principio de vegetacion, que persiste por largo tiempo y es causa de la pudricion seca y otras alteraciones de la madera. 4.° Es un veneno para los animales y plantas parásitas, á cuyo desarrollo se opone.

La naftalina en exceso, espesa demasiado la creosota y hace difícil la inyeccion, por eso no debe la creosota contener más de un 30 por 100. De los experimentos de Mr. Rottier, parece resultar que la materia más eficaz para conservar la madera, es el aceite verde, que se obtiene destilando la brea á una temperatura superior á 300°.

Ademas de conservar las maderas, la creosota las comunica propiedades notables de dureza y elasticidad, y las fibras son más adherentes que en el pino sin preparar. Se trabaja con gran facilidad, pero exige herramientas más cortantes, y las aristas y ensamblajes son tan perfectos como para el pino sin preparar. La mano de obra viene á ser un término medio entre la de éste y la de la encina, y permite sustituir con ventaja aquella madera por esta.

Las maderas blandas son preferibles para ser inyectadas, y por eso se conserva mejor el pino que la encina, que exige mayor gasto, pero siendo

esta madera irreemplazable en algunos casos, convendrá aplicar procedimientos más enérgicos de inyeccion. Conviene, por la misma razon, dejar la albura á los maderos rollizos, aumentando tambien con ello la resistencia de la madera, que viene así á resultar de un grueso mayor. Esto se ha hecho patente en las maderas destinadas á la prolongacion del dique del Oeste, en Trouville, pues aunque el pliego de condiciones establecia habrian de inyectarse hasta absorber 300 kilógramos, solo 66 de las 642 piezas, lograron alcanzar el tipo de 250 á 400, habiendo 60 que no pudieron absorber ni 100 kilógramos, á pesar de todas las precauciones tomadas y de elevar á 10 atmósferas la presion. Es verdad que la forma escuadrada, las grandes dimensiones de las piezas y el estar estas privadas de su albura, contribuian al mal éxito de la operacion. Las piezas de encina destinadas á la misma obra, se dejaban penetrar más fácilmente que las de pino rojo resinoso, si bien la forma rolliza de aquellas, destinadas á pilotes, y el conservar su albura, facilitaba la operacion.

En la misma obra se hicieron ensayos modificando el procedimiento, obligando á la creosota á penetrar, no en el sentido trasversal, sino en el longitudinal de las fibras. Para ello, se dejaba libre una de las extremidades y por la otra se inyectaba creosota bajo una presion de cuatro ó cinco atmósferas: la creosota salia á chorros al aire libre por la extremidad opuesta, y toda la madera quedaba perfectamente saturada, lo mismo en el corazon que en la superficie. Para que la saturacion sea más perfecta, lo mismo en el procedimiento ordinario que en el modificado, conviene mantener la temperatura de la madera y de la creosota á 80° centígrados.

El precio de inyeccion varía con la cantidad de creosota por metro cúbico, pero no es proporcional á ella, y la relacion varía con la madera, forma y dimensiones de las piezas. El precio de contrata fué en Trouville de 33,05 pesetas por metro cúbico, indemnizando ademas al contratista por la instalacion de los aparatos. La cantidad media de creosota inyectada debia ser 300 kilógramos. El precio verdadero resultó ser 23,95 pesetas, con 168 kilógramos de creosota por metro cúbico, sin contar ni las reparaciones, imprevistos, adelantos de fondos y ganancia del contratista. La encina, con 217 kilógramos, salió á 30,06 pesetas el metro cúbico. Los procedimientos de inyeccion son los ordinarios, descritos en los tratados de construccion (*a*).

(*a*) Véanse los apéndices.

199. Metales.—La destruccion de los metales sumergidos en el agua, es bien conocida de todos los constructores, así como la manera de verificarse la trasformacion del metal en óxido; pero las sales que contiene el agua del mar aumentan la energía de las reacciones químicas, y forman sales á expensas del metal sumergido. Así, es muy frecuente, por ejemplo, la formacion del carbonato de hierro cuando este metal está expuesto á la accion salina, á causa del ácido carbónico que la mar contiene en disolucion.

Este resultado quedó comprobado plenamente con los experimentos llevados á cabo por Grace Calvert. Este químico encontró que ni el oxígeno seco, ni el ácido carbónico seco ó húmedo, ejercen accion sobre el hierro. El oxígeno húmedo la tiene débil; pero el oxígeno húmedo con vestigios de ácido carbónico obra enérgicamente, dando orígen á protóxido de hierro y carbonato, que al fin se convierten en una mezcla de hidrato de sesquióxido y carbonato. Los óxidos alcalinos y los carbonatos y bicarbonatos de los mismos, son preservativos contra aquella accion, de tal modo, que una lámina de hierro sumergida en parte en una disolucion de ellos, preservó de oxidacion durante dos años la parte exterior sometida á las influencias atmosféricas. Iguales resultados se obtuvieron en el agua del mar.

La electricidad es una de las acciones más enérgicas que aceleran la destruccion del metal, y por este motivo debe evitarse cuidadosamente el contacto entre metales de diferente especie. Dice Minard que en 1811 encontró, despues de setenta años, fuertemente estriados los pernos y clavijas del zampeado de la esclusa de Flesinga, formando la seccion trasversal una estrella en vez de un círculo.

200. Hierro y sus compuestos.—El hierro es el metal que más interesa conocer al constructor de obras marítimas, por su baratura y la extension de las aplicaciones de que es susceptible, y los experimentos más numerosos se refieren á este metal. Hay diversidad de opiniones respecto á la conservacion ó destruccion de este material, segun el interes de los constructores. Así algunos afirman la casi indestructibilidad del hierro, al paso que el mayor número de observaciones está en contra de esta opinion, debiéndose, en los raros casos en que aquello ha sucedido, á circunstancias particulares y acaso á la naturaleza misma del metal. Por ejemplo, no se explica que en la esclusa del Rey, construida por Vauban en el Havre, encontrase Cessart intactos cien años despues los herrajes del zampeado, y que las barras colocadas por este Ingeniero en la misma obra y en igual

situacion, hayan sido destruidas á los setenta años. Otros hechos, algunos de los cuales citaremos en adelante, tienen explicacion más satisfactoria, por encontrarse los materiales envueltos en fango, ó revestidos de algun preservativo que ha impedido la accion directa del agua sobre el metal.

Es imposible poder deducir de la experiencia ningun resultado fijo; las circunstancias locales, la mayor ó menor cantidad de sales disueltas en el agua del mar segun el punto elegido para los ensayos, la naturaleza del metal empleado, y hasta su forma y dimensiones, han tenido una influencia muy marcada en el desgaste. Mallet encontró, por ejemplo, que este decrecia en la fundicion con el grueso, suponiéndolo en un siglo de 3 á 10 milímetros, para piezas de 26 milímetros de grueso, y 15 milímetros para el hierro forjado.

Hay otros ejemplos de más rápida destruccion; una bala de cañon de 11,50 centímetros de diámetro, fué destruida hasta el corazon en el estrecho del Forth, en un sitio que quedaba en seco, dos horas y media ántes de la bajamar de marcas vivas; lo que se supone ser favorable á la conservacion; pero sólo perdió $1/4$ de lo que ántes pesaba, convertida la mayor parte de la sustancia en carbonato de hierro. La conservacion es perfecta y al exterior no acusa alteracion ninguna; la inmersion data de 1564 y la extraccion de 1833, lo cual da para balas de esta especie 19 milímetros por siglo.

En el faro de Bell-Rock se ensayaron hasta veinticinco clases de hierros, inclusos los galvanizados. Los que no llevaban esta preparacion fueron todos oxidados con igual prontitud, al paso que los galvanizados resistieron hasta tres ó cuatro años; pero cuando pasado este tiempo, la accion química principió á desarrollarse, la destruccion fué tan rápida como en los otros.

Varias muestras de hierro fundido empleadas en el faro de Bell-Rock habian perdido cerca de la mitad en cincuenta años. En barras cuya seccion trasversal era de 26 milímetros en cuadro, perdia 13, y así en los demas. Se notó que eran más destruidas aquellas partes en donde el agua podia alojarse.

Hé aquí otros ejemplos de la accion salina. Un cañon de hierro de 24 del *Real Jorge*, sumergido en Spithead durante veintidos años, presentó una incrustacion de óxido de hierro de cuatro milímetros. Los del *Edgard* con las balas dentro, 20 milímetros al cabo de ciento treinta y tres años. Los cañones de barras de hierro forjado del *Mary Rose*, despues de ciento no-

venta y dos de inmersion, sólo de 7 milímetros; pero han estado enterrados y protegidos por el fango. La parte enterrada de una ancla extraida en Sunderland á los sesenta años, tenia adherida por la oxidacion una masa terrosa; el resto habia sufrido muy poco.

Dice Minard que los pernos de la esclusa de limpia de Dunkerque estaban inutilizados once años despues de puestos en obra, y atacados fuertemente los herrajes del mecanismo de las puertas giratorias, á pesar de encontrarse fuera del agua y mojadas sólo por las olas en las grandes tempestades. Hierros de 1,50 centímetros de escuadría quedaban reducidos á la mitad.

Rennie (Jorge) hizo experimentos sobre cubos de hierro forjado, fundido y bronce de 1,26 milímetros de lado. Los cubos fueron sumergidos en una disolucion compuesta de la siguiente manera:

Cloruro sódico	122 granos.
— magnésico	25
— cálcico	6
Sulfato sódico	30
Total	183

Disueltos en 10½ onzas del agua del Támesis.

El hierro fundido perdió, despues de setenta horas de inmersion, $\frac{1}{3.307}$ de su peso; el forjado $\frac{1}{6.610}$, y el bronce $\frac{1}{10.000}$; es decir, en la relacion de 1, 2 y 3. Sumergidos en una fuerte disolucion de ácido clorohídrico y 25 de agua del Támesis, el fundido perdió á las veintiuna horas $\frac{1}{33}$ y $\frac{1}{258}$ el forjado, ó como 1 á 8.

Grosbie Danson opina que el hierro forjado se deteriora más rápidamente que el fundido, y cita á Mallet, que da en el aire húmedo:

Fundicion	42
Hierro	54
Acero	56

Las hojas del hierro del puente de Low Moores resulta ser para cien años segun el mismo Mallet.

En agua del mar clara	5,43 milímetros.
— sucia	10,26
En agua dulce clara	0,89

201. Varios metales y aleaciones.—Calvert y Johnson hicieron experimentos directos sumergiendo en el agua del mar placas de 20 centímetros cuadrados perfectamente raspadas; las sacaron al cabo de un mes, y limpiándolas inmediatamente, se pesaron; el resultado, referido á la accion de cien litros de agua sobre un metro cuadrado, ha sido el siguiente:

Acero......................	29,16 gramos.
Hierro......................	27,37
Cobre en bruto.............	13,85
— afinado.............	12,96
Zinc......................	5,66
Hierro galvanizado..........	1,12
Estaño......................	1,45
Plomo......................	Vestigios.

Ademas de las experiencias en el laboratorio, se hicieron en el mar libre, sumergiendo placas de 40 centímetros. Hé aquí los resultados al cabo de un mes:

Acero......................	105,31 gramos.
Hierro......................	99,30
Cobre......................	27,72
Zinc......................	34,34
Hierro galvanizado..........	14,42
Plomo vírgen..............	25,60
— comun..............	25,80

La accion ha sido mucho más enérgica, por la renovacion continua del agua, el contacto de esta con las dos superficies, el rozamiento y el choque.

Se hicieron experimentos sobre distintas aleaciones, especialmente sobre latones de composicion variada. La accion de 200 litros sobre un metro cuadrado de superficie durante un mes resultó ser

		Composicion.	Cantidad disuelta.
Laton....................	Cobre puro.........	50	1,110
	Zinc puro..........	50	10,537
	Hierro............	»	»
		100	11,647

		COMPOSICION.	CANTIDAD disuelta.
Laton del comercio	Cobre	66,00	3,667
	Zinc	32,50	3,334
	Hierro y plomo	1,50	0,570
		100,00	7,571
Metal de Kuntz, en hojas	Cobre	70,00	4,226
	Zinc	29,20	2,721
	Hierro y plomo	0,80	0,438
		100,00	7,385
Idem en barras	Cobre	64,00	2,697
	Zinc	35,00	3,493
	Hierro y plomo	1,00	0,501
		100	6,691
Laton preparado	Cobre	50,00	7,042
	Zinc	48,00	3,477
	Estaño	2,00	0,363
		100,00	10,882

Se observa que la accion respectiva varía con las cantidades en combinacion, y que la adicion de una pequeña cantidad de otro metal, hace variar la accion sobre el cobre y el zinc. En el laton puro es atacado el zinc más rápidamente y preservado el cobre; al reves de lo que sucede con el hierro galvanizado, el estaño parece preservar al zinc, y atraer la destruccion sobre el cobre. La diferente accion del agua del mar sobre el cobre y el metal de Muntz, pudiera provenir no sólo de la combinacion del cobre y zinc, sino tambien de la débil proporcion de plomo y hierro que la aleacion contiene.

Segun Robinson, una aleacion de estaño, plomo y antimonio resiste mejor á la accion del agua del mar que otro metal ó aleacion cualquiera.

202. Preservativos.—En cuanto á los medios de preservar los metales de la accion salina, son infinitos los propuestos que se describen en los tratados de construccion. Desde la pintura hasta la galvanizacion, todos los procedimientos son aplicables. La pintura al óleo y la galvanizacion

presentan el inconveniente de que puede el rozamiento dejar al descubierto el metal; para este objeto son mejores los mastics y enlucidos descritos al tratar de las piedras [189], especialmente los de parafina, Ruoltz, Fulgens, etc.; y de emplear pinturas, conviene sean aquellas que tengan las mismas bases que estos mastics: hé aquí otras recetas.

La pintura conserva extraordinariamente el hierro, y debe recomendarse á los Ingenieros el máyor cuidado en darla. La pintura de blanco de zinc es una de las mejores, porque penetra en los poros, se adhiere y forma una aleacion con el hierro. El grueso de la capa de pintura, ha de ser por lo ménos de 5 milímetros.

El mejor remedio que se ha encontrado contra la oxidacion y el orin del hierro, es un barniz en que entra como parte principal el óxido de cobre disuelto en una mezcla de pez y nafta. Conviene que el barniz no sea ni demasiado claro ni demasiado espeso; demasiado claro, cae el óxido al fondo y no se adhiere al metal; y cuando es muy espeso, no se aplica bien y se pierde una gran parte. Con objeto de que el líquido mantenga en suspension una gran cantidad de óxido de cobre, se prepara el barniz del modo siguiente. Se toma el óxido de cobre color de castaña (subóxido), se tuesta hasta convertirlo en óxido negro, se hierve en aceite de linaza hasta que recobra su color primitivo de subóxido. Resulta un barniz muy secante y capaz de suspender una gran cantidad de óxido.

Despues de este preservativo, el que mejor ha probado es el caoutchouc (water-proof glue) y un barniz de asfalto y pez mineral disueltos en nafta purificada; pero es necesario emplear gran cuidado en su aplicacion y elegir bien los materiales.

FIN DE LA PRIMERA PARTE.



